



**LE SNBPE**  
BÉTON PRÊT-À-L'EMPLOI

# Eurocode fascicule 65

Janvier 2010



# SOMMAIRE



## I LE CADRE NORMATIF 6

1.1	La normalisation	6
1.2	Les ouvrages	6
1.3	Les marchés publics	7
1.4	Les marchés privés	8

## II LES EUROCODES 9

2.1	Le rôle des Eurocodes	9
2.2	L'historique	9
2.3	Les différents Eurocodes et leur application	10
2.4	La structure des Eurocodes	11
2.4.1	Les liens entre les Eurocodes	11
2.4.2	Du BAEL vers l'Eurocode 2 - NF EN 1992 : le calcul des structures en béton	13
2.5	Le Partage des rôles	13
2.6	Les évolutions notables apportées par l'Eurocode	14

## III L'EUROCODE 2 - NF EN 1992 15

3.1	Organisation de la norme NF EN 1992-1-1 Structures en béton : règles générales et règles pour les bâtiments	15
3.2	Les règles de base	15
3.3	Les modalités de définition des bétons	15
3.4	L'approche semi probabiliste	16
3.4.1	Le principe	16
3.4.2	Valeurs caractéristiques et coefficients partiels	17
3.4.2.1	Résistance caractéristique	17
3.4.2.2	Coefficients sur les actions aux Etats Limites Ultimes (ELU)	18
3.4.2.3	Exemple de charges variables	18
3.4.2.4	Prise en compte des actions	19
3.4.2.5	Exemples de variation des caractéristiques de résistance du béton	19
3.4.2.6	Prise en compte de la résistance du matériau	21
3.4.2.7	Diminution des coefficients partiels sur le béton	22



**Syndicat National  
du Béton Prêt à l'Emploi**

3.4.2.8	Application de l'approche semi-probabiliste à partir des valeurs caractéristiques et des coefficients partiels	22
3.4.3	Application	23
3.5	Les états limites ultimes	24
3.6	Durabilité et enrobage	24
3.6.1	La classe liée à la structure	25
3.6.2	Enrobage minimal fonction des conditions d'environnement selon la norme européenne	26
3.6.3	Enrobage minimal fonction des conditions d'environnement selon l'annexe nationale française	27
3.6.4	Enrobage des armatures	28
3.6.5	Exemples d'applications :	29
3.6.5.1	Béton pour une pile de pont	29
3.6.5.2	Voile dans un théâtre au-dessus de l'ouverture entre la salle et la scène (voile poutre)	29
3.7	Fissuration	29
3.8	Retrait de dessiccation	30
3.9	Conclusion	31

## **IV LE FASCICULE 65 : Exécution des ouvrages de Génie-Civil en béton armé ou précontraint** **32**

4.1	Historique	32
4.2	Définition et spécification des bétons	34
4.2.1	Choix des classes d'exposition – art. 81.2.1	35
4.2.2	Spécifications particulières en fonction des classes d'exposition – art. 81.2.2	37
4.2.3	Les exigences complémentaires – art. 81.4	39
4.2.4	La teneur en chlorures – art. 81.6	40
4.3	Les constituants – art. 82	40
4.3.1	Choix et dosage	40
4.3.2	Les ciments – art. 82.1	40
4.3.3	Les granulats – art. 82.2	41
4.3.4	L'eau de gâchage - art. 82.3	41
4.4	Fabrication et transport (art. 83 ; annexe B)	42
4.5	L'évaluation de la conformité	43
4.6	Les épreuves d'études	45
4.7	Les épreuves de convenance	46
4.8	Conclusion	46





## AVANT - PROPOS



Il y a quelques mois, un ami me faisait part de cette réflexion :

*«N'oublions pas que les EN Construction sont d'abord, en commun, un vocabulaire, un lexique, des formules, des phrases, des modèles de pensée, des unités de mesure, des symboles, puis des valeurs sociales communes, et enfin seulement, en troisième place, la justesse physique.»*

Oui, les Eurocodes sont tout cela. Ils sont issus d'une initiative des associations professionnelles relayée par la Commission européenne dès 1974, puis ont bénéficié du support et de l'organisation du Comité européen de normalisation à partir de 1989. La longue gestation de ces normes a finalement abouti à la naissance d'un outil commun, accepté par l'ensemble des États membres de l'Union européenne et la profession, pour la conception et le dimensionnement des constructions.

Les structures en béton armé ou/et précontraint relèvent de l'Eurocode 2 (en France, norme NF EN 1992). Tout commença le 6 novembre 1953 : c'est en effet ce jour-là qu'au cours d'une séance inaugurale tenue au Luxembourg, fut fondé le Comité Européen du Béton (CEB) à partir d'une initiative de spécialistes français qui désiraient confronter leurs vues et leurs expériences avec leurs homologues étrangers. Les objectifs qui avaient été statutairement fixés visaient la coordination internationale et la synthèse des recherches, la sécurité et la durabilité, la conception et le calcul, la codification et l'application pratique aux diverses technologies de la construction. En 1964, furent publiées les premières «Recommandations pratiques à l'usage des constructeurs», qui proposaient une synthèse des connaissances déjà acquises au CEB. Ce

document ne concernait que les structures classiques en béton armé. Puis, une étroite coopération technique s'établit entre le CEB et la Fédération Internationale de la Précontrainte, qui conduisit en 1970 à une deuxième édition des recommandations sous le titre de « Recommandations internationales CEB/FIP pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton ». Ces recommandations furent accueillies comme un document de référence dont s'inspirèrent nombre de codes nationaux de conception et de calcul. Un pas décisif fut franchi avec l'idée, émise en 1974, de réunir l'ensemble des textes visant des matériaux aussi différents que le béton, le métal, le bois, la maçonnerie et l'aluminium en un vaste système international de codification technique unifiée des structures, basé sur des principes de sécurité communs.

Dans ce système, on passa du stade de « recommandations » à celui de « code-modèle », susceptible d'être adopté tel quel comme code national par n'importe quel pays. Le « Code-Modèle 1978 pour les structures en béton », eut un impact décisif sur les codes et normes nationaux. Il est à l'origine des règles françaises dites règles BAEL. Lorsque la Commission Européenne décida de se doter de textes techniques, c'est tout naturellement que le Code-Modèle 1978 fut pris comme texte de référence pour la rédaction de la première ébauche de l'Eurocode 2. En 1990, une version mise à jour et améliorée, le Code-Modèle 90, a pris le relais, débouchant sur la mise au point de la version finale de ce qui s'appelle désormais, en France, la norme NF EN 1992.

Au terme d'un parcours de 25 ans, l'Eurocode 2 a fini par obtenir le statut de norme européenne, dont l'application sera incontournable à partir de 2010 dans les pays de l'Union européenne. L'engouement pour les Eurocodes à l'extérieur de l'Union européen-

ne est stupéfiant : l'Eurocode 2 a été traduit en langue russe, il a été adopté en tant que norme malaise MS EN 1992 avec l'autorisation du CEN, et le futur code africain de béton armé, dont la rédaction est principalement pilotée par l'Afrique du Sud, s'appuiera complètement sur la norme EN 1992, et n'oublions pas de citer les pays du bassin méditerranéen qui ont déjà, dans leur grande majorité, adopté les Eurocodes. Pour l'industrie, cette diffusion de la culture technique européenne est une chance qu'il faut savoir exploiter. Les

programmes d'enseignement dans les écoles d'ingénieurs et les universités ont évolué depuis plusieurs années pour permettre aux futurs ingénieurs de maîtriser cette nouvelle culture technique en génie civil. Mais l'acquisition de cette maîtrise n'est pas facile et il faut la faciliter par la formation et les publications pédagogiques. L'initiative du SNBPE de mettre au point et de distribuer largement le présent opuscule est exemplaire. Il ne se limite pas à la diffusion d'une information générale, fort utile au demeurant, il fournit également des exemples d'application de

l'Eurocode 2 permettant au lecteur de faire les premiers pas dans l'apprentissage de méthodes qui n'ont rien de révolutionnaire, mais dont la forme est un peu nouvelle.

Un bel ouvrage en béton est aussi un ouvrage exécuté selon les règles de l'art, avec un matériau répondant à toutes les exigences de qualité en fonction de ses conditions environnementales. Et cet opuscule rappelle les bons principes, parfois méconnus, souvent oubliés...

Je souhaite à tous les lecteurs de prendre du plaisir à lire cet ouvrage.

**Jean-Armand CALGARO**

Ingénieur Général des Ponts et Chaussées  
Président du CEN/TC250 (Eurocodes)

« ...l'Eurocode 2 a fini par obtenir le statut de norme européenne, dont l'application sera incontournable à partir de 2010 dans les pays de l'Union européenne. »

# I. LE CADRE NORMATIF

## 1.1 La normalisation

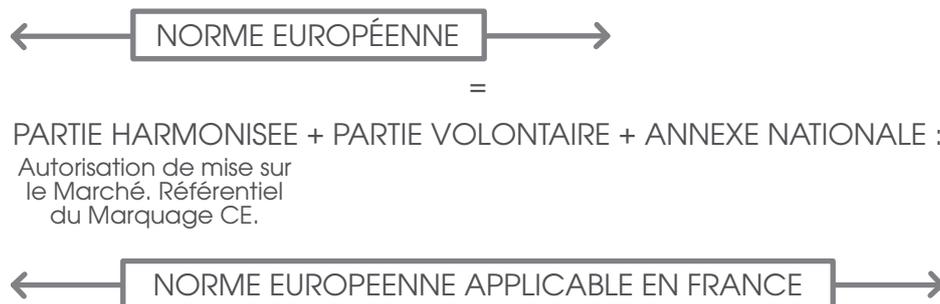
Le décret n° 84-74 du 26 janvier 1984 fixe le statut de la normalisation. Il stipule à l'article 1 que « la normalisation a pour objet de fournir des documents de référence comportant des solutions à des problèmes techniques et commerciaux concernant les produits, biens et services qui se posent de façon répétée dans des relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux »

La normalisation fait l'objet du décret n° 2009-697 du 16 juin 2009 (Ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi). L'article 1<sup>er</sup> de ce décret est ainsi rédigé :

« La normalisation est une activité d'intérêt général qui a pour objet de fournir des documents de référence élaborés de manière consensuelle par toutes les parties intéressées, portant sur des règles, des caractéristiques, des recommandations ou des exemples de bonnes pratiques, relatives à des produits, à des services, à des méthodes, à des processus ou à des organisations.

Elle vise à encourager le développement économique et l'innovation tout en prenant en compte des objectifs de développement durable ».

Les normes sont, de manière générale, des textes d'application volontaire. L'observation de certaines peut être rendue obligatoire par la réglementation nationale.



**Nota :** La transposition d'une norme européenne en norme Française et donc la mise en application du marquage CE fait l'objet d'un arrêté ministériel publié au Journal Officiel (l'arrêté fixe la date à partir de laquelle le marquage CE devient obligatoire et la période transitoire à savoir la période nécessaire pour la mise en conformité et l'écoulement des stocks, pendant laquelle l'ancienne et la nouvelle norme peuvent cohabiter).

## 1.2 Les ouvrages

Au plan européen, les directives « Nouvelle Approche » fixent de manière réglementaire et obligatoire des exigences essentielles applicables aux produits en matière de sécurité, de santé et d'environnement.

Dans le domaine des produits de construction, les exigences essentielles visent à garantir que les ouvrages auxquels ces produits sont intégrés, à condition que ces ouvrages soient convenablement conçus et construits, répondent à des prescriptions de sécurité, de résistance, de protection de l'environnement et d'économie d'énergie.

Contrairement aux autres directives, les exigences essentielles portent sur les ouvrages et non sur les produits d'où le recours à des textes de transposition pour établir les spécifications techniques détaillées auxquelles les produits et services doivent se conformer.

Les différentes étapes de la construction d'un ouvrage, depuis la conception jusqu'à la réalisation en passant par les constituants et les essais, font l'objet de normes établies dans le cadre de l'application de la Directive Produits de Construction 89/106/EEC du 21 Décembre 1988 (DPC).

- normes de conception et de calcul (Eurocodes) ;
- normes de matériaux et de produits (généralement européennes) ;
- normes et documents d'exécution (Documents Techniques Unifiés (D.T.U.), fascicule 65, autres Cahiers des Clauses Techniques Générales (C.C.T.G.) puis norme NF EN 13670-1 Exécution des ouvrages en béton) ;
- normes d'essais (généralement européennes) ;
- agréments techniques (futurs Agréments Techniques Européens (ATE)).

La Directive sur les produits de Construction est fondée sur les exigences essentielles auxquelles doivent répondre durablement les ouvrages.

Les produits de construction mis sur le marché doivent être conçus et avoir des niveaux de performance tels que les ouvrages dans lesquels ils sont incorporés satisfassent aux exigences définies dans la directive.

Les ouvrages doivent satisfaire aux **EXIGENCES ESSENTIELLES** suivantes :

- 1 - La résistance mécanique et la stabilité
- 2 - La sécurité en cas d'incendie
- 3 - L'hygiène, la santé et l'environnement
- 4 - La sécurité d'utilisation
- 5 - La protection contre le bruit
- 6 - L'économie d'énergie et l'isolation thermique

La Directive Produits de Construction 89/106/EEC est destinée à être remplacée à moyen terme par un Règlement du Parlement Européen et du Conseil, établissant des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction. Ce Règlement reprend les 6 exigences essentielles de la DPC (qui s'appelleront exigences fondamentales applicables aux ouvrages) et en ajoute une 7<sup>ème</sup>, intitulée « Utilisation durable des ressources naturelles ».

### 1.3 Les marchés publics

Selon l'article 6 du Code des Marchés Publics 2009 :

I. - Les prestations qui font l'objet d'un marché ou d'un accord-cadre sont définies, dans les documents de la consultation, par des spécifications techniques formulées :

1° soit par référence à des normes ou à d'autres documents équivalents accessibles aux candidats, notamment des agréments techniques ou d'autres référentiels techniques élaborés par les organismes de normalisation ;

2° soit en termes de performances ou d'exigences fonctionnelles. Celles-ci sont suffisamment précises pour permettre aux candidats de connaître exactement l'objet du marché et au pouvoir adjudicateur d'attribuer le marché. Elles peuvent inclure des caractéristiques environnementales. (...)

II. - Le pouvoir adjudicateur détermine les prestations qui font l'objet du marché ou de l'accord-cadre qu'il passe :

1° soit en utilisant exclusivement l'une ou l'autre des catégories de spécifications techniques mentionnées aux 1° et 2° du I ;

2° soit en les combinant.



III. - Les cahiers des charges comprennent des documents généraux et des documents particuliers. Bien que la référence à ces documents ne soit pas obligatoire (Article 13 du Code des Marchés Publics 2009), les documents généraux sont :

1° Les cahiers des clauses administratives générales, qui fixent les dispositions administratives applicables à une catégorie de marché ;

2° Les cahiers des clauses techniques générales, qui fixent les dispositions techniques applicables à toutes les prestations d'une même nature.

Dans le cas présent, et avant la mise en œuvre globale du système normatif européen, il s'agit principalement :

- du fascicule 65 : Exécution des ouvrages de Génie-Civil en Béton Armé ou Précontraint ;
- du cahier des charges EDF ;
- du cahier des charges SNCF.



## 1.4 Les marchés privés

Les marchés privés de travaux sont régis par différents textes et notamment :

- la norme NF P 03-001 : cahier des clauses administratives générales applicables aux travaux de bâtiment faisant l'objet de marchés privés ;
- le code des assurances : « l'assuré est déchu de tout droit à garantie en cas d'inobservation inexcusable des règles de l'art, telles qu'elles sont définies par les réglementations en vigueur, les Documents Techniques Unifiés ou les normes... ».

LES NORMES SONT INCONTOURNABLES.

## II. LES EUROCODES

### 2.1 Le rôle des Eurocodes

- Les Eurocodes sont les normes européennes relatives à la conception et au calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil.

- Ils permettent de s'assurer de la stabilité des ouvrages conformément aux exigences de la Directive Produits de Construction (D.P.C. - 89/106/CEE). Ils prennent en compte la résistance aux incendies et aux séismes.

Les Eurocodes n'imposent pas totalement et rigoureusement toutes les modalités de calcul des structures. Il s'agit de textes permettant :

- certains choix au niveau national (annexe nationale)
- certains autres choix au niveau de chaque projet

La dérogation à une règle fixée par les Eurocodes est très difficile puisque ces règles garantissent la conformité aux exigences de la Directive Produits de Construction.

A défaut de précisions dans l'annexe nationale française, les « valeurs recommandées » indiquées dans les Eurocodes peuvent être retenues dans le marché, ou définies dans le projet. Pour certains produits, un niveau ou une classe de performance pourront être spécifiés. La vérification de la conformité des produits aux spécifications constitue une tâche importante de la maîtrise d'œuvre et relève de la responsabilité du maître d'ouvrage.

### 2.2 L'histoire

**1971 - 1976** Première Directive européenne relative aux marchés publics de travaux (1971) ; mise à l'étude d'un projet de référentiel technique européen pour le jugement des appels d'offres.

**1976 - 1990** Rédaction d'un premier ensemble de textes, sous l'égide directe de la Commission, pour harmoniser les méthodes et les règles de calcul des structures de génie-civil (Eurocodes)

- Enquêtes internationales (1980)
- Directive Produits de Construction (1989)
- Transfert au Comité Européen de Normalisation (CEN).

**1990 - 1998** Travaux de mise sous forme normative des premiers Eurocodes (normes provisoires ENV – ENV 1992-1 parue en 1992).

**1998 - 2007** Transformation des Eurocodes provisoires (ENV) en normes EN (beaucoup de changements pour l'Eurocode 2) puis en France sous l'appellation NF EN (avec une annexe nationale)

**2008 - ...** Maintenance et évolution des Eurocodes.

## 2.3 Les différents Eurocodes et leur application

Les Eurocodes constituent la base technique des marchés publics d'études de travaux (directive 2004/18/CE).

Ils sont publiés par le CEN sous forme de normes européennes EN élaborées par le CEN/TC 250 .

Ils sont au nombre de dix.



- Un Eurocode (NF EN 1990) traite des exigences fondamentales pour les constructions et fournit les règles de formation des combinaisons d'actions pour diverses catégories d'ouvrages (bâtiments, ponts, etc.) dans le cadre de la méthode des états-limites basée sur l'emploi de coefficients partiels.

- Un Eurocode (NF EN 1991) traite de la détermination des valeurs représentatives des actions applicables aux constructions à l'exception des actions géotechniques (traitées dans la norme NF EN 1997) et des actions sismiques (traitées dans la norme NF EN 1998).

- Six Eurocodes (NF EN 1992 à NF EN 1996 et NF EN 1999) explicitent les règles de calcul et les dispositions constructives des structures pour différents matériaux (béton, acier,...) y compris les règles de vérification de la résistance aux incendies.

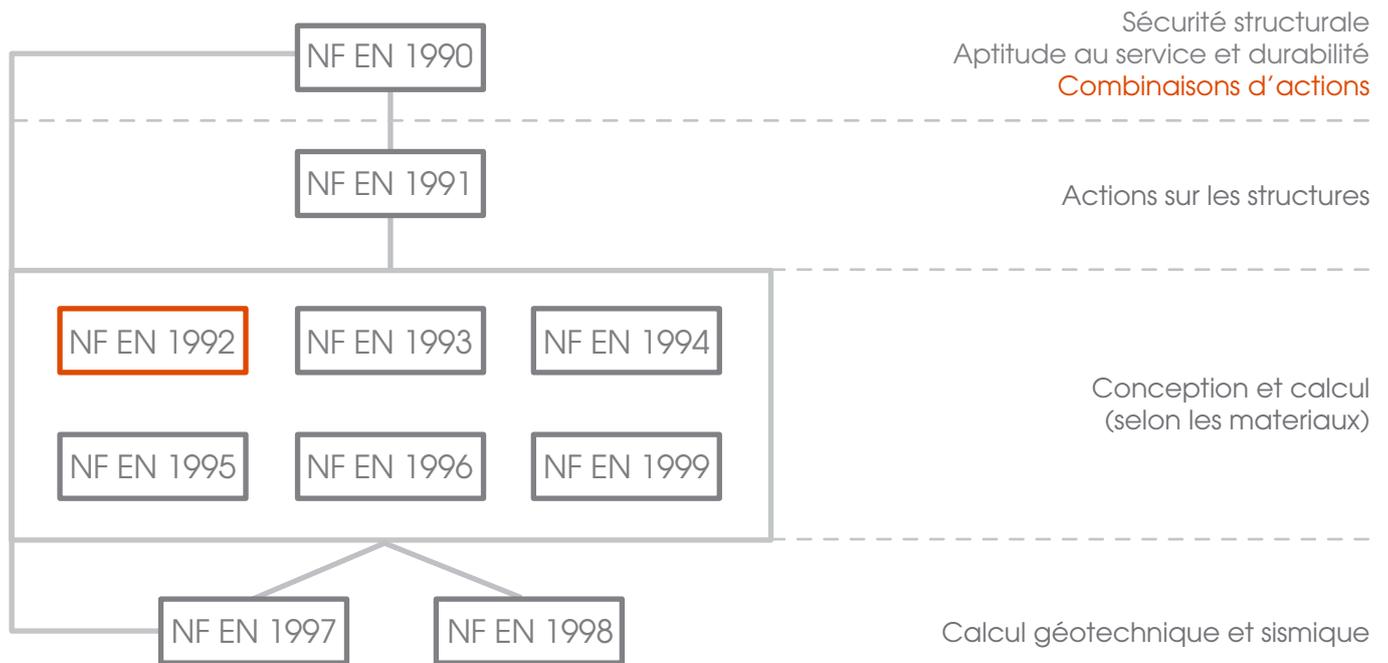
- Deux Eurocodes « transversaux » traitent des aspects complémentaires : calcul géotechnique (NF EN 1997) et vérification de la résistance aux séismes (NF EN 1998).

NF EN 1990 (Eurocode 0) :	Bases de calcul des structures
NF EN 1991 (Eurocode 1) :	Actions sur les structures
<b>NF EN 1992 (Eurocode 2) :</b>	<b>Calcul des structures en béton</b>
NF EN 1993 (Eurocode 3) :	Calcul des structures en acier
NF EN 1994 (Eurocode 4) :	Calcul des structures mixtes acier-béton
NF EN 1995 (Eurocode 5) :	Calcul des structures en bois
NF EN 1996 (Eurocode 6) :	Calcul des structures en maçonnerie
NF EN 1997 (Eurocode 7) :	Calcul géotechnique
NF EN 1998 (Eurocode 8) :	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
NF EN 1999 (Eurocode 9) :	Calcul des structures en alliage d'aluminium

## 2.4 La structure des Eurocodes

- Chaque Eurocode (sauf l'Eurocode 0) est divisé en plusieurs parties.
- Les dix Eurocodes constituent un ensemble de 59 normes (soit environ 5 000 pages).

### • 2.4.1 Les liens entre les Eurocodes



**Normes et DTU associés**

Matériaux : NF EN 206-1...  
Produits : NF EN 1337...  
Exécution : NF EN 13670-1,  
DTU 21, ...  
Essais : NF EN 12350-8...

BASES DE CALCUL :  
**Eurocode 0**



CHARGES :  
**Eurocode 1**



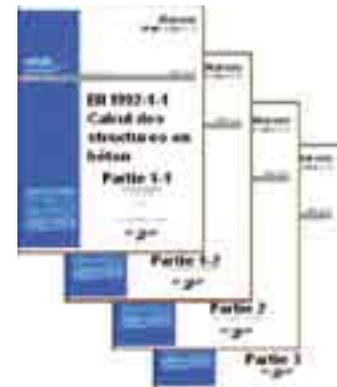
- d'exploitation
- climatiques
- accidentelles
- ...



RÉSISTANCE AUX SÉISMES :  
**Eurocode 8**



STRUCTURE EN BÉTON :  
**Eurocode 2**



GÉOTECHNIQUE :  
**Eurocode 7**



**Les différents Eurocodes nécessaires pour le dimensionnement des structures en béton.**

## • 2.4.2 Du BAEL vers l'Eurocode 2 - NF EN 1992 : le calcul des structures en béton

Au niveau français, l'Eurocode 2 est appelé à remplacer les règles BAEL (Béton Armé aux Etats Limites) et BPEL (Béton Précontraint aux Etats Limites) qui constituaient jusqu'à présent les règles de conception et de calcul aux états limites des ouvrages en béton.

NF EN 1992-1-1	Règles générales et règles pour les bâtiments
NF EN 1992-1-2	Règles générales : calcul du comportement au feu
NF EN 1992-2	Ponts : calculs et dispositions constructives
NF EN 1992-3	Silos et réservoirs

## 2.5 Le Partage des rôles

Les Eurocodes imposent un partage des rôles comme suit :

Le Maître d'Ouvrage doit **définir complètement ce qu'il veut** :

- la forme, le type et l'esthétique du bâtiment ;
- l'usage qu'il compte en faire, y compris entretien et maintenance ;
- ses fonctionnalités et performances en tant qu'outil ;
- la sécurité et le confort qu'il en attend en tant que lieu de vie ;
- la durée d'utilisation attendue.

Le Maître d'Oeuvre est responsable de tous les choix techniques de conception qui devront répondre aux souhaits du Maître d'Ouvrage.

Le Bureau d'études, sous contrôle du Maître d'Oeuvre, calcule et dimensionne l'ouvrage conçu par le Maître d'Oeuvre.\*

L'Entreprise exécute l'ouvrage dimensionné par le bureau d'études sous contrôle du Maître d'Oeuvre.\*

Le producteur de béton prêt à l'emploi formule, produit et livre le béton conformément à la norme NF EN 206-1 et aux spécifications fournies par l'entreprise.

\* Le bureau d'études peut être celui de l'entreprise, dans ce cas, l'entreprise calcule, dimensionne et exécute l'ouvrage sous contrôle du maître d'œuvre.

## 2.6 Les évolutions notables apportées par l'Eurocode

### Ce qui ne change pas pour le béton

Globalement les principes de calcul et les coefficients de sécurité :

- la méthode semi probabiliste et la méthode des coefficients partiels ;
- le principe des vérifications aux Etats Limites de Service (E.L.S.) et aux Etats Limites Ultimes (E.L.U.) ;
- les coefficients partiels sur les charges et les matériaux ;
- un certain nombre de déterminations qui font simplement l'objet de clarifications et de règles explicites (feu, séismes, ...).



### Ce qui change

- La forme :
  - un ensemble de textes cohérents ;
- L'appréciation de la fissuration ;
- Les enrobages d'armatures :
  - une détermination en fonction des classes d'exposition.

### Bilan

Les modifications techniques fondamentales par rapport à la situation antérieure sont limitées en France (essentiellement dans quelques domaines (fissuration, séisme, ...) avec des méthodes de calcul nouvelles sans incidence fondamentale sur le résultat).

La modification la plus profonde est dans la forme : 58 normes européennes de calcul homogènes, compatibles entre elles et avec les normes de produits et d'exécution qui remplacent une mosaïque de textes français parfois en contradiction les uns avec les autres (la règle des 350 kg de ciment par m<sup>3</sup> de béton dans le BAEL est en contradiction avec la norme sur le béton).

# III. L'EUROCODE 2 - NF EN 1992

## Domaines d'application

- Bâtiment
- Génie-civil
- Béton armé, non armé, précontraint
- Travaux neufs
- Structures entières ou composants
- Structures traditionnelles ou novatrices
- Résistance mécanique, aptitude au service, durabilité, résistance au feu

## Exclusions

- Formes ou conceptions inhabituelles
- Isolation thermique ou acoustique
- Utilisation d'armatures lisses
- BFUP

## 3.1 Organisation de la norme NF EN 1992-1-1 Structures en béton : règles générales et règles pour les bâtiments

- ▶ **Section 1 :** *généralités*
- Section 2 :** *bases de calcul*
- Section 3 :** *matériaux*
- Section 4 :** *durabilité et enrobage des armatures*
- Section 5 :** *analyse structurale*
- Section 6 :** *états limites ultimes*
- Section 7 :** *états limites de service*
- Section 8 :** *dispositions constructives des armatures*
- Section 9 :** *dispositions constructives des éléments*
- Section 10 :** *éléments préfabriqués*
- Section 11 :** *béton de granulats légers*
- Section 12 :** *béton non ou peu armé*



Il est à noter que la durabilité de l'ouvrage est une priorité majeure de l'Eurocode 2, prise en compte avant même le calcul de structure. Ceci correspond parfaitement à la démarche de développement durable adoptée par la profession du Béton Prêt à l'Emploi.

## 3.2 Les règles de base

Pour les structures en béton il faut :

- calculer aux états limites, avec la méthode des coefficients partiels, comme indiqué dans la NF EN 1990 (Eurocode 0),
- calculer des actions sur la structure conformément à la NF EN 1991 (Eurocode 1),
- effectuer les combinaisons d'actions conformes à la NF EN 1990, et déterminer **les résistances, la durabilité et l'aptitude au service conformes à la NF EN 1992 (Eurocode 2) et à leurs annexes nationales respectives.**

## 3.3 Les modalités de définition des bétons

L'approche semi-probabiliste avec les états limites s'appliquera à l'ensemble des matériaux comme c'était déjà le cas pour le béton au travers du BAEL et du BPEL.

Les notions de base du BAEL et du BPEL sont maintenues dans l'Eurocode 0.

## Raisonnement aux états limites

Les états limites sont des états au-delà desquels la structure ne satisfait plus aux critères de dimensionnement.



On distingue :

- ELU : États Limites Ultimes ;
- ELS : États Limites de Service.

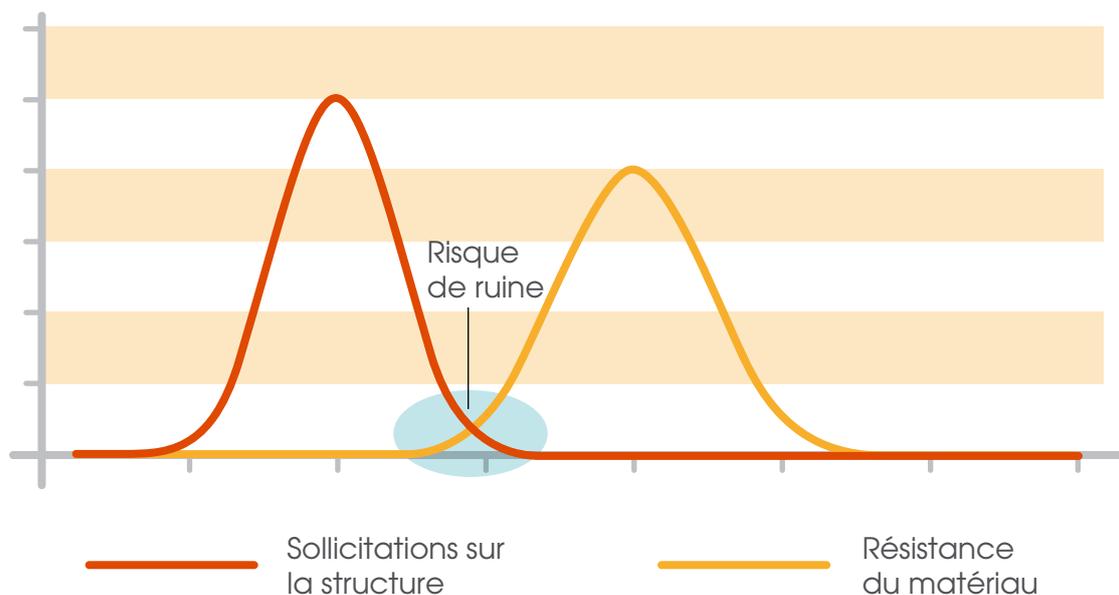
Les états limites ultimes (ELU) correspondent à l'effondrement de la structure.

Les états limites de service (ELS) correspondent à des conditions au-delà desquelles les exigences d'aptitude au service ne sont plus satisfaites (flèche, ouverture de fissure pour un réservoir,...).

### 3.4 L'approche semi probabiliste

#### • 3.4.1 Le principe

Le principe de l'approche semi-probabiliste est de limiter la probabilité de ruine des constructions à une valeur suffisamment faible pour être acceptée. Cette probabilité se détermine à partir des lois de probabilité des effets des actions et des résistances traitées comme des variables aléatoires.



La probabilité de ruine est la probabilité que :

- les sollicitations de la structure soient supérieures à sa résistance ;
- les sollicitations du matériau soient supérieures à sa résistance.

### • 3.4.2 Valeurs caractéristiques et coefficients partiels

Pour simplifier les calculs, les calculs probabilistes sont remplacés par un choix codifié de valeurs représentatives des grandeurs aléatoires (actions, effets des actions et résistances), la principale valeur représentative étant la valeur caractéristique.

Ainsi, la résistance du béton est représentée par sa valeur caractéristique (en compression comme en traction) avec un fractile associé de 5% (5% des valeurs peuvent être inférieures à la valeur caractéristique).

#### • 3.4.2.1 Résistance caractéristique

- La résistance en compression du béton est désignée par les classes de résistance de la norme NF EN 206-1.
- La résistance de calcul est basée sur la résistance caractéristique en compression mesurée sur cylindre,  $f_{ck}$ , déterminée à 28 jours.

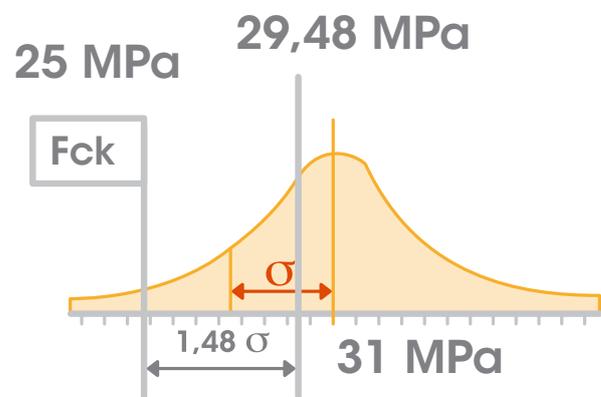
Selon la norme NF EN 206-1

Pour un béton de classe **C 25/30**  
la résistance visée est comprise  
entre  $f_{ck} + 6$  et  $f_{ck} + 12$ .

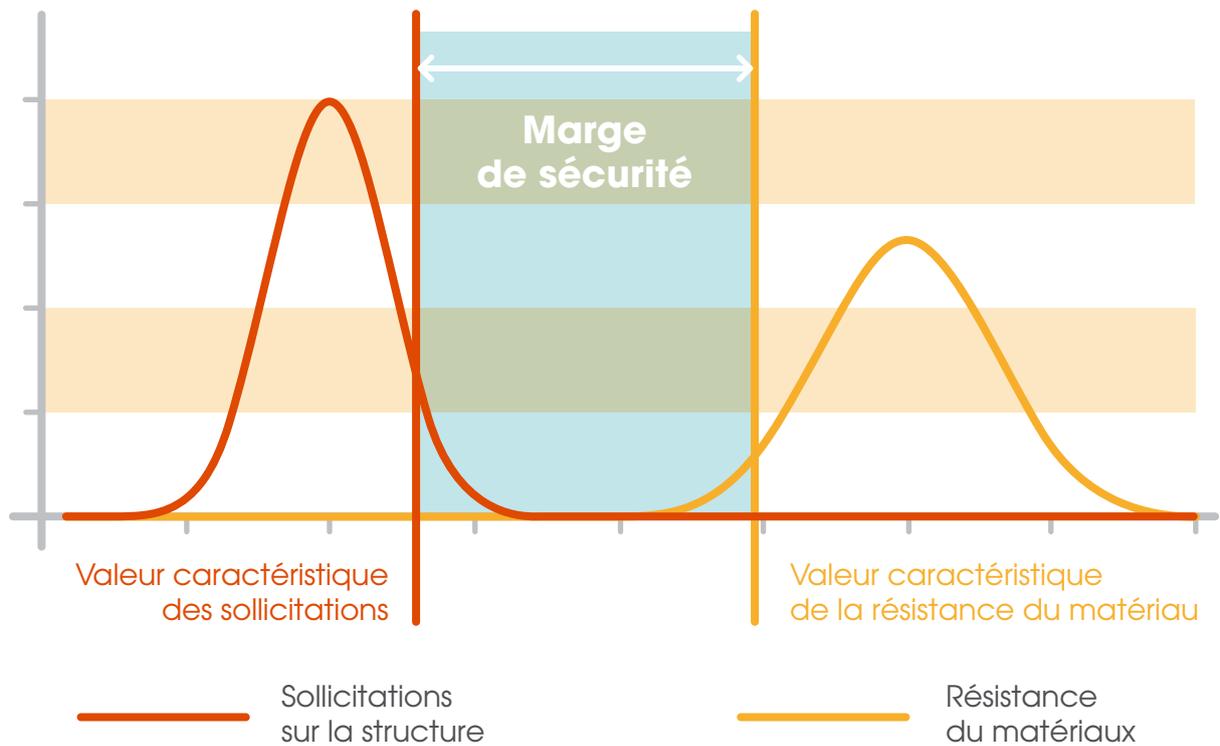
Pour la vérification de conformité,  
il faut une moyenne supérieure à

**$f_{ck} + 1,48 \sigma \rightarrow 29,48 \text{ MPa}$**

**pour un nombre de valeurs  $\geq 15$   
et pour  $\sigma = 3$  ( $\sigma = \text{écart type}$ ).**



De même, le calcul de la probabilité de ruine est remplacé par la vérification d'une inéquation dont les grandeurs (effet des actions et résistance) sont affectées de coefficients pour obtenir un écart suffisant entre la valeur caractéristique des sollicitations et la valeur caractéristique de la résistance du matériau ou de la résistance structurale.



### • 3.4.2.2 Coefficients sur les actions aux Etats Limites Ultimes (ELU)

Coefficient pour les charges permanentes  $\rightarrow 1,35$ , (c'est-à-dire les charges qui sont appliquées en permanence à la structure comme le poids propre des matériaux de construction utilisés).

Coefficient pour les charges variables  $\rightarrow 1,50$ .

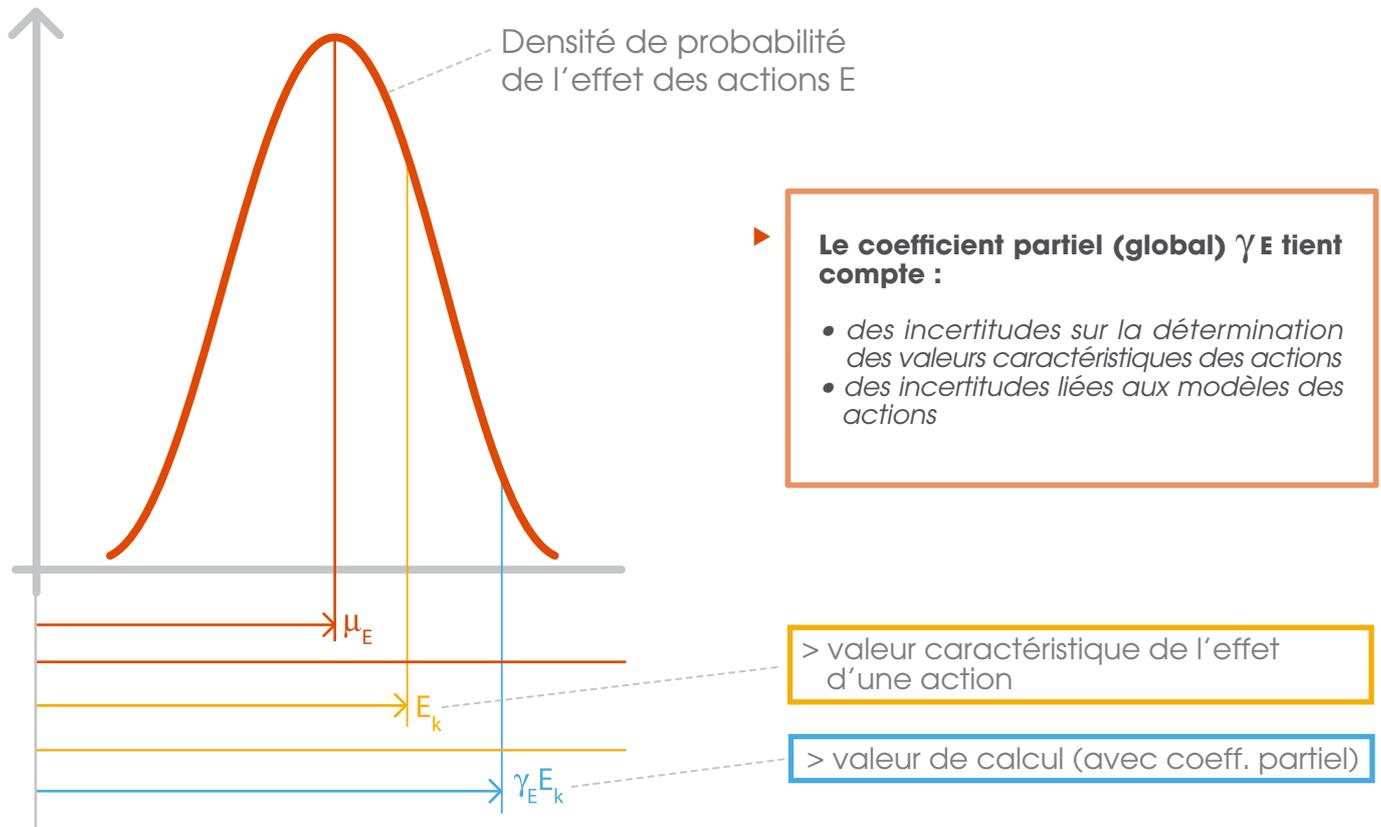
Ces deux coefficients restent identiques aux règles françaises actuelles (BAEL et BPEL).

### • 3.4.2.3 Exemples de charges variables

Charge d'exploitation sur un plancher.  
Charges dues à la circulation.



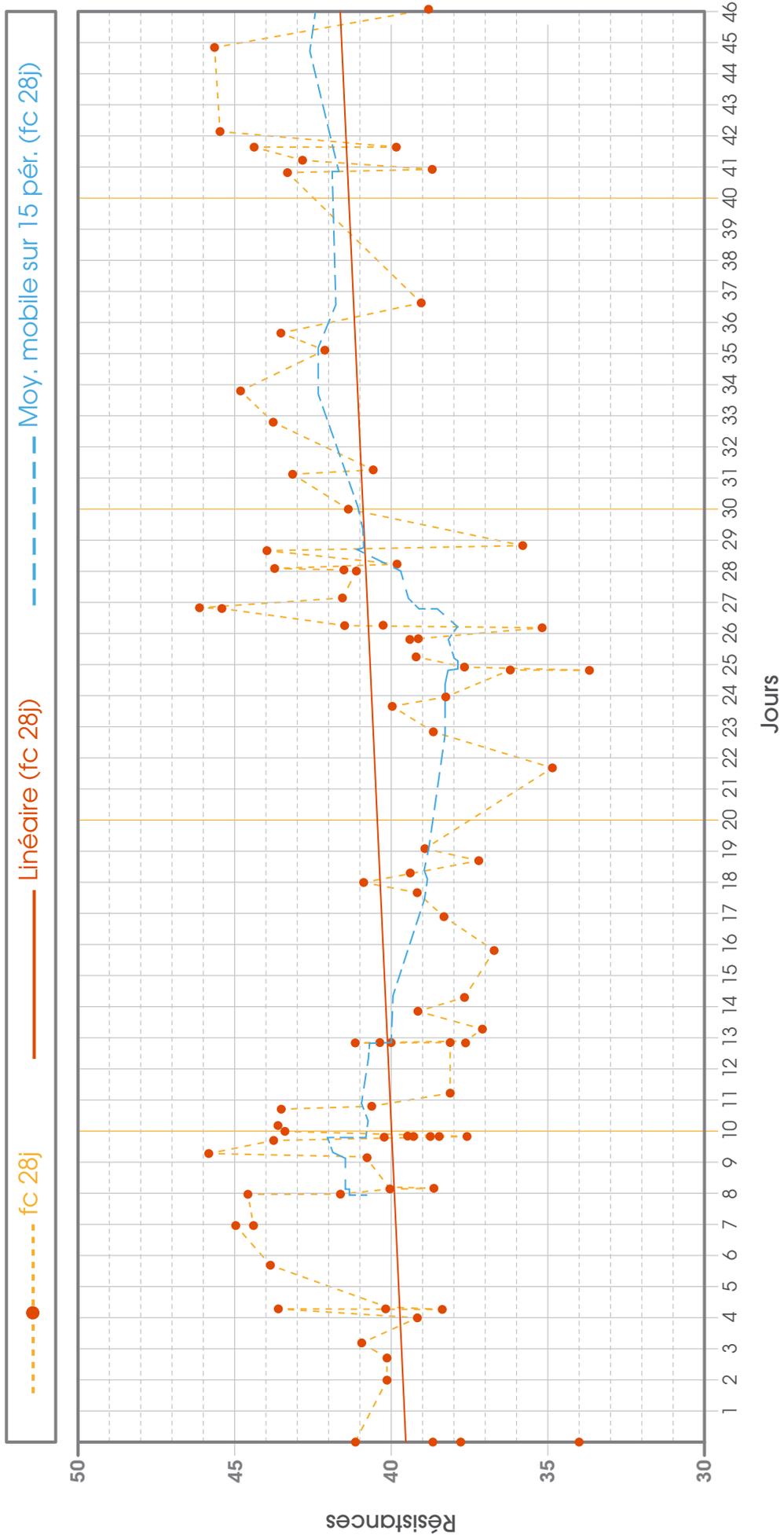
### • 3.4.2.4 Prise en compte des actions



### • 3.4.2.5 Exemples de variation des caractéristiques de résistance du béton

Une charge de béton de classe de résistance C 35/45 contrôlée à 34 MPa (conforme critère 2 de conformité pour la résistance à la compression :  $f_{ck} - 4$ ).

**Courbe de suivi de production d'un béton montrant les variations possibles des résultats pour une production conforme.**



- Variabilité des conditions de mise en oeuvre :



*Difficultés de vibration dans des zones encombrées*

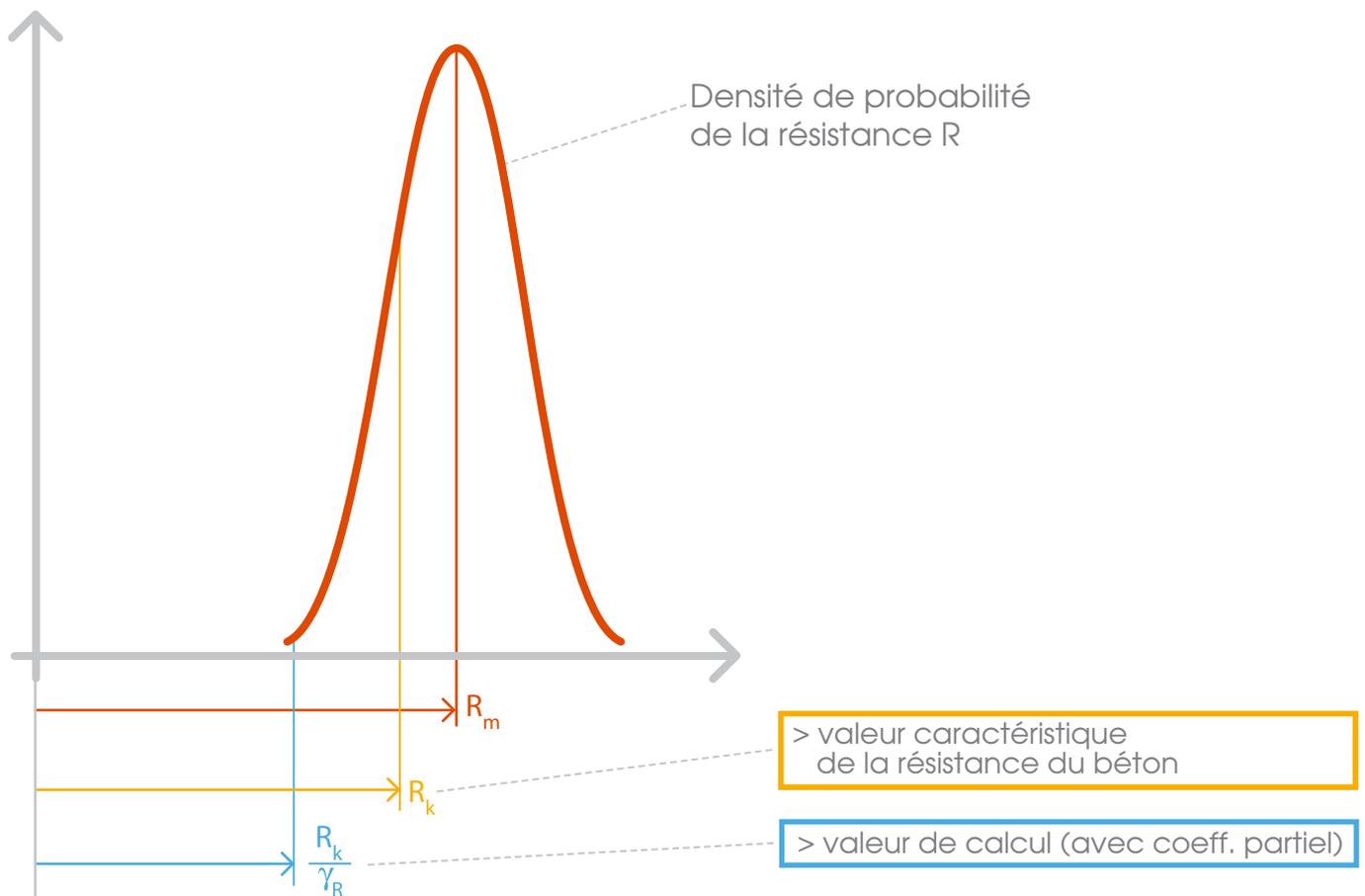
- Conditions de mûrissement du béton :



*Hydratation du ciment*

- Tolérances sur les dimensions du coffrage  
(exemple : Poutre prévue à 80 cm et coffrée à 78 cm de hauteur).

### • 3.4.2.6 Prise en compte de la résistance du matériau



- Coefficient partiel pour le matériau béton -->1,50.

Situations de projet	$\gamma_c$ (béton)	$\gamma_s$ (acier de béton armé)	$\gamma_s$ (acier de précontrainte)
Durable Transitoire	1,5	1,15	1,5
Accidentelle	1,2	1,0	1,0

Coefficients partiels pour les matériaux relatifs aux états limites ultimes.

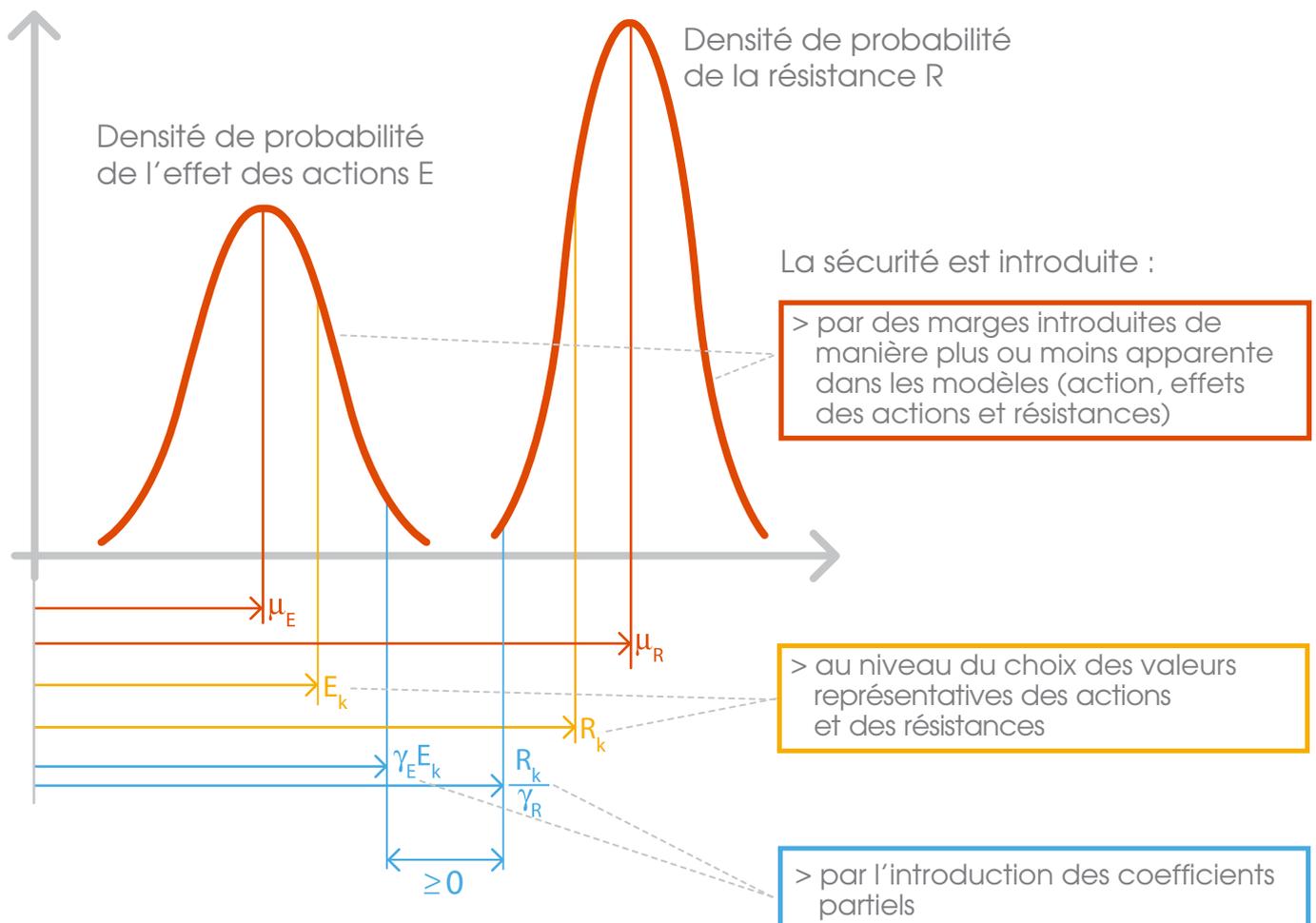
### • 3.4.2.7 Diminution des coefficients partiels sur le béton

Si l'exécution est soumise à un système de maîtrise de la qualité qui limite les tolérances d'exécution et s'il est démontré que le coefficient de variation de la résistance du béton n'est pas supérieur à 10%, le coefficient partiel relatif au béton peut être réduit à la valeur  $\gamma_c$  red1.



La valeur recommandée au niveau européen est  $\gamma_c$  red1 = 1.4.

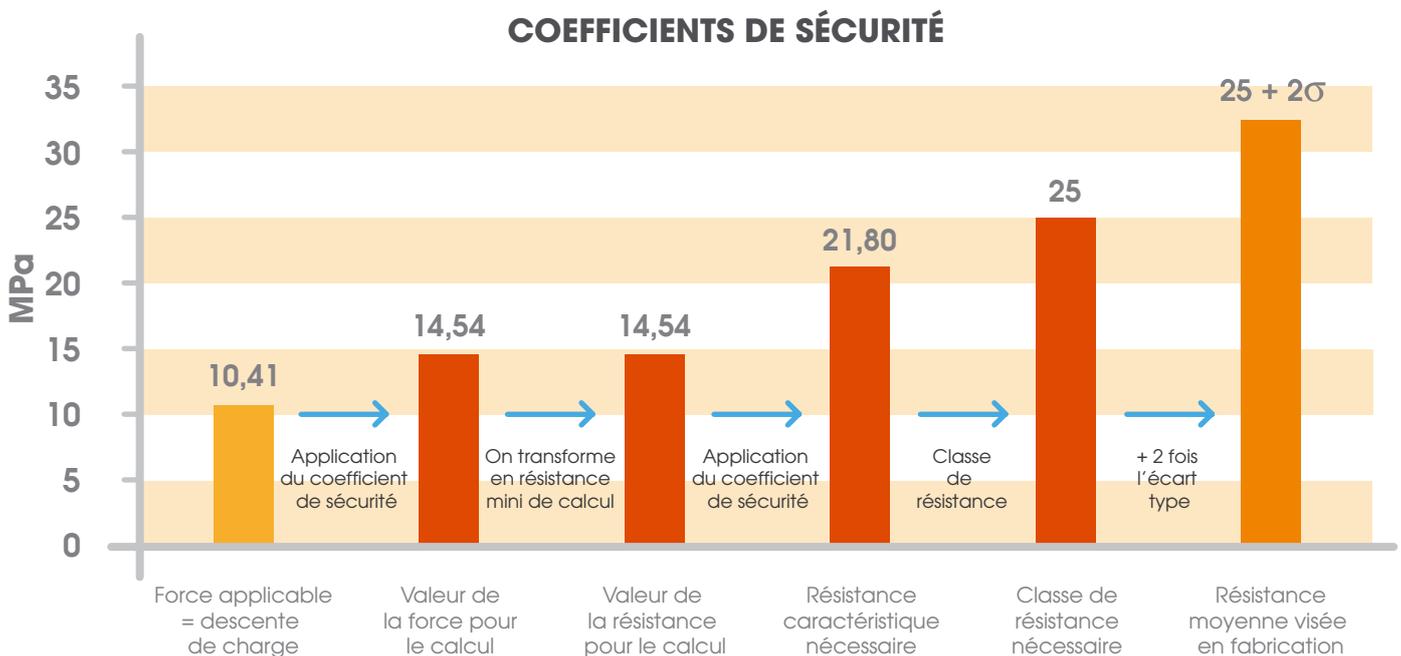
### • 3.4.2.8 Application de l'approche semi-probabiliste à partir des valeurs caractéristiques et des coefficients partiels



### • 3.4.3 Application

#### Calcul très simplifié d'un poteau de section carrée supportant un plancher :

Trame :	10 m x 10 m	
Surface de plancher à reprendre par poteau :	100 m <sup>2</sup>	
Charge permanente par m <sup>2</sup> de plancher (dalle béton 30 cm + chape 5 cm ; 25 KN/m <sup>3</sup> )	0,35 x 25 =	8,75 KN
Coefficient de sécurité à l'ELS	1,35	
Charges permanentes à prendre en compte (/m <sup>2</sup> )	8,75 x 1,35 =	11,81 KN
Charges d'exploitation (/m <sup>2</sup> )	4 KN	
Coefficient de sécurité à l'ELU	1,50	
Charges variables à prendre en compte (/m <sup>2</sup> )	4 x 1,50 =	6,00 KN
Charges totales par m <sup>2</sup> de plancher	8,75 + 4 =	12,75 KN
Charges totales par m <sup>2</sup> de plancher (avec coef. sécu.)	11,81 + 6 =	17,81 KN
Charges totales par poteau (charge réelle)	12,75 x 100 =	1275 KN
Charges totales par poteau (charge prise en compte)	17,81 x 100 =	1781 KN
Côté du poteau	0,35 m	
Section du poteau (surface utile)	0,35 x 0,35 =	0,1225 m <sup>2</sup>
Contrainte réelle de compression sur le poteau	1,275 / 0,1225 =	<b>10,41 MPa</b>
Contrainte sur le poteau (avec coef. sécu.)	1,781 / 0,1225 =	<b>14,54 MPa</b>
Coefficient de sécurité partiel sur le béton	1,50	
Contrainte caractéristique minimale du béton	14,54 x 1,50 =	<b>21,80 MPa</b>
Contrainte caractéristique du béton retenue		<b>25 MPa</b>
<b>Classe de résistance retenue pour le béton :</b>		<b>C25/30</b>
<b>Résistance visée par le producteur :</b>		<b>31 MPa</b>



Du fait de l'application des différents coefficients de sécurité, la résistance moyenne visée représente environ le triple de l'estimation des efforts à reprendre. L'augmentation la plus importante résulte de l'application du coefficient de sécurité sur le matériau « béton » à 1,5.

### 3.5 Les états limites ultimes

Le calcul aux états limites ultimes se fait sur des principes proches des règles BAEL et BPEL.

Les vérifications à opérer sont :

- La flexion : hypothèses usuelles ;
- L'effort tranchant : méthode des bielles d'inclinaison variable ;
- La torsion : calculs similaires aux pratiques françaises ;
- Le poinçonnement : méthode (très développée) des bielles et tirants ;
- La fatigue : chapitre très développé (similaire à ce qui est usuel en France) ;
- La rupture fragile : se prémunir d'une rupture par corrosion des câbles.

### 3.6 Durabilité et enrobage

Les recommandations de l'Eurocode 2 en matière d'enrobage visent, en conformité avec la norme NF EN 206-1, à optimiser la durabilité des ouvrages.

#### Le cahier des charges (CCTP) doit prévoir :

Une durée d'utilisation (Eurocode 0) :

- Durée de référence : 50 ans
- Autres possibilités :
  - 10 ans : ouvrages provisoires
  - 10 à 25 ans : éléments structuraux remplaçables
  - 15 à 30 ans : structures agricoles et similaires
  - 100 ans : structures de bâtiments monumentaux ou stratégiques (ouvrages d'art)

La classe d'exposition de chaque partie d'ouvrage en référence à :

- La norme NF EN 206-1
- Le fascicule 65
- Autres cahiers des charges spécifiques



### • 3.6.1 La classe liée à la structure (classe structurale)

Cette classe est liée à la durée de l'utilisation de l'ouvrage.  
Elle n'est utilisée que pour définir l'enrobage des armatures pour la durabilité (fonction des conditions d'environnement exprimées par la classe d'exposition). Elle doit être définie par le maître d'ouvrage (via la durée d'utilisation).



#### **Attention :**

*la classe structurale (S1 à S6 de la NF EN 1992-1-1) n'a aucun rapport avec la classe de consistance (S1 à S5 de la NF EN 206-1).*

#### **Eurocode 2 :**

S1 à S6 : classe structurale

#### **NF EN 206-1 :**

S1 à S5 : classe de consistance



La classe structurale à utiliser pour les bâtiments et ouvrages de génie civil courants est S4, pour des bétons conformes au Tableau N.A.F.1 (ou N.A.F.2 selon le cas) de l'Annexe Nationale de la NF EN 206-1.



• **3.6.2 Enrobage minimal fonction des conditions d'environnement selon la norme européenne (EN 1192-1-1)**

► **Attention :**

*le regroupement de classes d'exposition pour la définition de l'enrobage (NF EN 1992-1-1) est différent du regroupement de l'annexe nationale de la NF EN 206-1 pour la définition des spécifications minimales.*

Cmin, dur mm	CLASSE D'EXPOSITION						
	XO	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
S1	10	10	10	15		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

**Modulation de la classe structurale - version européenne :**

CRITERES	CLASSE D'EXPOSITION						
	XO	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1	XD2 XS1	XD3 XS2 XS3
Durée d'utilisation de projet de 100 ans	Majoration de 2 points						
Classe de résistance minimale	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C40/50	C40/50	C45/55
	Si résistance supérieure minoration de 1 point						
Maîtrise particulière de la qualité de production du béton	Minoration de 1 point						

### • 3.6.3 Enrobage minimal fonction des conditions d'environnement selon l'annexe nationale française

L'Eurocode ne retient pas les classes d'exposition au gel. L'annexe nationale précise que, sous réserve du respect des dispositions relatives au béton, l'enrobage sera déterminé par référence à une classe d'exposition XC ou XD :

- XF1 -> XC4
- XF2 -> XD1 ou XD3 selon l'exposition
- XF3 -> XC4 ou XD1 selon formulation sans ou avec entraîneur d'air
- XF4 -> XD2 ou XD3 selon l'exposition (salage)

**Tableau 4.3NF de la NF EN 1992-1-1 : Modulations de la classe structurale recommandée, en vue de la détermination des enrobages minimaux  $c_{\min, \text{dur}}$  dans les tableaux 4.4N et 4.5NF de la norme.**

CRITÈRES	CLASSE D'EXPOSITION SELON TABLEAU 4.1						
	XO	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 <sup>(3)</sup>	XD2/XS2/ XA2 <sup>(3)</sup>	XD3/XS3/ XA3 <sup>(3)</sup>
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 <sup>(1)</sup>	≥ C30/37 et < C50/60 : minoration de 1	≥ C30/37 et < C50/60 : minoration de 1	≥ C30/37 et < C55/67 : minoration de 1	≥ C35/45 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C40/50 et < C60/75 : minoration de 1	≥ C45/55 et < C70/85 : minoration de 1
	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C55/67 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C70/85 : minoration de 2
Nature du liant		Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes :  minoration de 1	Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes :  minoration de 1	Béton de classe ≥ C40/50 à base de CEM I sans cendres volantes :  minoration de 1			
Enrobage compact <sup>(2)</sup>	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

C <sub>min, dur</sub> mm	CLASSE D'EXPOSITION						
	XO	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
<b>S1</b>	10	10	10	15	20	25	30
<b>S2</b>	10	10	15	20	25	30	35
<b>S3</b>	10	10	20	25	30	35	40
<b>S4</b>	10	15	25	30	35	40	45
<b>S5</b>	15	20	30	35	40	45	50
<b>S6</b>	20	25	35	40	45	50	55

**Tableau 4.5NF de la NF EN 1992-1-1 : Valeurs de l'enrobage minimal  $c_{min, dur}$  requis vis-à-vis de la durabilité dans le cas des armatures de précontrainte.**

Classe structurale	C <sub>MIN,DUR</sub> (mm)						
	XO	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1 XS1	XD2 XS2	XD3 XS3
<b>S1</b>	Sans objet	10	15	25	30	35	40
<b>S2</b>		15	25	30	35	40	45
<b>S3</b>		20	30	35	40	45	50
<b>S4</b>		25	35	40	45	50	55
<b>S5</b>		30	40	45	50	55	60
<b>S6</b>		35	45	50	55	60	65

L'annexe nationale française préconise donc un enrobage supérieur des armatures de précontrainte.

### • 3.6.4 Enrobage des armatures

L'enrobage nominal est la somme de l'enrobage minimal  $c_{min}$  et de la tolérance d'exécution ( $\Delta c_{dev}$ ).

La tolérance d'exécution est estimée à 10 mm par la norme européenne mais elle peut-être réduite en fonction du système d'assurance qualité mis en place ou de mesures très précises de l'enrobage.

L'enrobage minimal est la plus grande des valeurs suivantes :

- $c_{min, b}$  : diamètre des barres
- $c_{min, dur}$  : enrobage minimal lié à la classe structurale
- 10 mm : enrobage minimal dans l'absolu

### • 3.6.5 Exemples d'applications :

#### • 3.6.5.1 Béton pour une pile de pont non exposée au sel de déverglaçage :

Classe d'exposition : XF1 équivalent ici à XC4

Ouvrage d'art : durée d'utilisation : 100 ans donc classe structurale S6.

Utilisation d'un béton de classe de résistance C45/55 (-1\*)

Classe structurale retenue : **S5**

Enrobage minimal  $c_{\min, \text{dur}}$  : **35 mm**

Enrobage minimal : si dispositions particulières d'assurance qualité sur la pose, on a :  $\Delta c_{\text{dev}} = 5 \text{ mm}$

$c_{\text{nom}} = c_{\min, \text{dur}} + \Delta c_{\text{dev}} = 35 + 5 = 40 \text{ mm}$ .



#### • 3.6.5.2 Voile dans un théâtre au-dessus de l'ouverture entre la salle et la scène (voile poutre)

##### Utilisation d'un béton C 25/30

Bras de levier des armatures en flexion horizontale :	400 mm
Enrobage : $c_{\min, \text{dur}}$ S4 + XC2 (tableau 4.4 N)	25 mm
Pas de disposition particulière d'assurance qualité sur la pose donc $\Delta c_{\text{dev}} =$	10 mm
$c_{\text{nom}} = c_{\min, \text{dur}} + \Delta c_{\text{dev}} = 25 + 10 =$	35 mm
Épaisseur totale du voile : $400 + (2 \times 35)$	470 mm

##### Utilisation d'un béton C 35/45, avec un ciment CEM I

Bras de levier des armatures en flexion horizontale :	350 mm (idem à BAEL)
Modulation de la classe structurale :	
Béton $\geq$ C 35/45 + CEM I sans cendres (tab. 4.3 NF)	-1 -1
Classe structurale recommandée (S 4-2)	S2
Enrobage : $c_{\min, \text{dur}}$ S2 + XC2 (tableau 4.4 N)	15 mm
Pas de disposition particulière d'assurance qualité sur la pose donc $\Delta c_{\text{dev}} =$	10 mm
$c_{\text{nom}} = c_{\min, \text{dur}} + \Delta c_{\text{dev}} = 15 + 10 =$	25 mm
Épaisseur totale du voile : $350 + (2 \times 25)$	400 mm

**Le choix d'un béton plus performant permet de diminuer l'enrobage et donc les sections.**

## 3.7 Fissuration

*« la fissuration est normale dans les structures en béton armé ».*

L'Eurocode ne reprend pas les appellations « fissuration non préjudiciable / préjudiciable / très préjudiciable » usitées jusqu'à présent en France ; pour l'Eurocode :

- la fissuration est normale dans les structures en béton armé soumises à des sollicitations de flexion, d'effort tranchant, de torsion ou de traction...

- la fissuration doit être limitée de telle sorte qu'elle ne porte pas préjudice au bon fonctionnement ou à la durabilité de la structure ou encore qu'elle ne rende pas son aspect inacceptable ;

- la fissuration est abordée en terme d'ouverture de fissure « conventionnelle de calcul » (différent des fissures observées) avec une limitation en fonction du type de structure et de la classe d'exposition.



\* Cf tableau 4.3 NF.

- pour la limitation des flèches, l'Eurocode fait intervenir la fissuration de l'élément de structure par un calcul assez complexe (une prise en compte simplifiée de cette fissuration est possible).

En l'absence d'exigences spécifiques (étanchéité à l'eau par exemple), on peut admettre que la limitation des ouvertures calculées des fissures aux valeurs  $w_{max}$  du Tableau 7.1NF (annexe nationale française) sera généralement satisfaisante du point de vue de l'aspect et de la durabilité.

**Tableau 7.1NF de la NF EN 1992-1-1 : Valeurs recommandées de  $w_{max}$  (mm)**

CLASSE D'EXPOSITION	Eléments en béton armé et éléments en béton précontraint sans armatures adhérentes	Eléments en béton précontraint avec armatures adhérentes
	Combinaison quasi-permanente de charges	Combinaison fréquence de charges
X1, XC1	0,40	0,20
XC2, XC3, XC4	0,30	0,20
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3, XD3	0,20	Décompression

► **NOUVEAU :** Pour limiter la fissuration, l'Eurocode 2 indique aussi :

- le diamètre maximal des armatures,
- leur espacement maximal.

### 3.8 Retrait de dessiccation

*Le retrait de dessiccation est une caractéristique intrinsèque du matériau béton.*

Le retrait de dessiccation non gêné du béton est estimé par les valeurs du tableau 3.2 de la norme européenne qui présente des évaluations supérieures à celles du B.A.E.L.

**Tableau 3.2 : Valeurs nominales du retrait de dessiccation non gêné (en ‰) pour le béton avec des ciments CEM de classe N.**

$f_{ck}/f_{ck, cube}$ (MPa)	HUMIDITE RELATIVE (en %)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0,62	0,58	0,49	0,30	0,17	0,00
40/50	0,48	0,46	0,38	0,24	0,13	0,00
60/75	0,38	0,36	0,30	0,19	0,10	0,00
80/95	0,30	0,28	0,24	0,15	0,08	0,00
90/105	0,27	0,25	0,21	0,13	0,07	0,00

- Béton ordinaire -> retrait de 400 à 500  $\mu\text{m}/\text{m}$ .
- Selon le BAEL le retrait était estimé à :
  - En moyenne, en France :  $\Delta l/l = 2 \text{ à } 3 \cdot 10^{-4} \mp 200 \text{ à } 300 \mu\text{m}/\text{m}$
  - En région très humide :  $\Delta l/l = 150 \text{ à } 200 \mu\text{m}/\text{m}$
  - En région très sèche :  $\Delta l/l = 500 \mu\text{m}/\text{m}$

Cette évolution prend mieux en compte la réalité du retrait du béton. Il doit en être tenu compte dans l'évaluation de la fissuration.

### 3.9 Conclusion

Les Eurocodes et les normes de produits ne sont pas des textes complets mais des textes à options ; en effet si certains choix sont effectués au niveau national (**Annexe nationale**), d'autres le sont au niveau de chaque projet.

Désormais il faut savoir que la dérogation à une règle fixée par les Eurocodes sera très difficile. En l'absence de documents d'accompagnement français, les « valeurs recommandées » indiquées dans les Eurocodes peuvent être retenues dans le marché, mais non systématiquement. Pour certains produits, on pourra spécifier un niveau ou une classe de performances.

La vérification de la conformité des produits aux spécifications constituera une tâche importante de la maîtrise d'œuvre.

Les Eurocodes supposent donc un partage des rôles.

- Le Maître d'Ouvrage doit définir précisément ce qu'il veut :
  - la forme, le type et l'esthétique du bâtiment
  - l'usage qu'il compte en faire, y compris l'entretien et la maintenance
  - ses fonctionnalités et performances en tant qu'outil
  - la sécurité et le confort qu'il en attend en tant que lieu de vie
  - la durée d'utilisation attendue.
- Le Maître d'Ouvrage est responsable de tous les choix techniques de conception qui devront répondre aux performances.
- Le Bureau d'Etudes, sous contrôle du Maître d'Ouvrage, calcule et dimensionne l'ouvrage conçu par le Maître d'Ouvrage.
- L'Entreprise exécute l'ouvrage dimensionné par le Bureau d'Etudes sous contrôle du Maître d'Ouvrage.

Les retombées des Eurocodes constituent un enjeu majeur pour l'ingénierie européenne. En effet, l'Europe avec un marché intérieur de 490 millions d'habitants n'offre pas un débouché suffisant pour les bureaux d'étude et les entreprises de construction d'ouvrages d'art et de génie civil. Pour s'exporter, ces derniers avaient besoin d'un vecteur commun, capable de s'imposer face aux normes anglo-saxonnes : les Eurocodes répondent à cette exigence.

A titre d'exemple, signalons que les autorités routières françaises et allemandes ont annoncé que les ponts peuvent être étudiés selon les Eurocodes depuis 2005. Il s'agit par conséquent, de se former pour connaître les principales exigences des Eurocodes et leurs conséquences sur la prescription du béton.

## IV. LE FASCICULE 65 :

### Exécution des ouvrages de Génie-Civil en béton armé ou précontraint

#### OBJET

- Le fascicule 65 constitue, dans le cadre de Marchés Publics, le Cahier des Clauses Techniques Générales pour l'exécution des ouvrages de Génie-Civil en Béton Armé ou en Béton Précontraint.
- A terme, il deviendra un complément sous forme d'annexe nationale à la norme NF EN.13670 : Exécution des ouvrages en béton.

#### DOMAINE D'APPLICATION

- La norme NF EN 206-1 définit les bétons de structure.
- Le fascicule 65 associé à la norme NF EN 206-1 fournit les spécifications propres aux ouvrages de génie civil en béton armé ou en béton précontraint.

#### POINTS ESSENTIELS POUR LE BÉTON PRÊT À L'EMPLOI

- Chapitre 6 : Parements, parois et surfaces non coffrées
- Chapitre 8 : Bétons et mortiers
- Annexe B : Equipement des centrales à béton

### 4.1 Historique

**Années 60 et 70 :** différentes circulaires traitaient du béton armé puis du béton précontraint dans les ouvrages d'art et de l'esthétique des ouvrages.



**1985 :** fascicule 65 : Exécution des ouvrages de Génie-Civil en béton armé ou précontraint.

- Document original qui se voulait exhaustif.
- Le plan est basé sur 4 chapitres.
- Dispositions générales.
- Matériaux, produits et composants.
- Exécution des travaux.
- Définition technique des prestations.
- + Annexe technique au texte et aux commentaires.

Ce fascicule 65 s'est avéré rapidement trop lourd pour la plupart des ouvrages, notamment les plus modestes. Les premières applications montrèrent le manque de souplesse de ce texte ; c'est dans le but de mieux s'adapter à la diversité des situations qu'il fut décidé de remplacer le fascicule 65 par **trois textes**.



**1992** : Fascicule 65-A : Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint par post-tension.

- Seuls les éléments communs à la plupart des ouvrages sont conservés
- Le découpage est plus clair
- Le plan type des chapitres
- Fourniture
- Mise en œuvre
- Assurance qualité
- Contrôle extérieur

Il a été allégé par rapport au fascicule 65 initial en excluant certaines techniques particulières ou des prescriptions uniquement destinées à des ouvrages complexes. Il met l'accent sur l'assurance qualité et le contrôle externe.

**1993** : Additif au fascicule 65-A : techniques ou procédés de construction particuliers.

La plupart des chapitres traitent de techniques particulières :

- Traitement thermique
- Précontrainte par pré-tension
- Produits spéciaux de protection des armatures de précontrainte
- Précontrainte extérieure
- ...

D'autres chapitres apportent des prescriptions complémentaires à celles du fascicule 65-A. La parution de cet additif permet d'abroger complètement le fascicule 65 initial.

**1995** : Fascicule 65-B : Exécution des ouvrages de génie-civil de faible importance en béton armé.

- Clauses techniques simplifiées
- Stipulations sensiblement identiques à celles du fascicule 65-A
- Rédaction allégée
- Pas de précontrainte
- Limité aux techniques les plus courantes
- Plan d'Assurance Qualité (PAQ) simplifié

**En pratique le fascicule 65 B n'a pas été utilisé pour les ponts.**



**Août 2000** : nouvelles versions :

- Fascicule 65-A
- Additif au fascicule 65-A
- Prise en compte des évolutions normatives (XP P 18-305...)



**2008** : regroupement en un seul document.

Cette version du fascicule 65 est applicable depuis le 1er décembre 2008 suite à l'arrêté du 6 mars 2008 paru au JO du 18 juin 2008.

#### **Objectifs de la révision :**

- Rendre compte de la spécificité des Ouvrages d'Art dans le cadre de la nouvelle normalisation : durée prévisionnelle d'utilisation de 100 ans.
- Viser l'amélioration de la qualité des ouvrages.
- Prendre en compte de nouvelles dispositions dans les Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP).

► *La parution du fascicule 65 version 2008 rend caduque les CCTP types provisoires qui ont été utilisés pendant la durée de sa mise à jour.*

#### **Principales dispositions :**

- Prise en compte de l'évolution du rôle de la Maîtrise d'Œuvre
- Intégration des normes européennes et notamment de la NF EN 206-1
  - La terminologie et la classification avec notamment les classes d'exposition ;
  - La définition des rôles : Prescripteur, utilisateur, producteur ;
  - Les normes européennes sur les constituants du béton.
- Prise en compte de :
  - nouvelles recommandations : Alkali réaction, gel/dégel, RSI ;
  - nouvelles méthodes d'essais : normes d'essais européennes et essais sur les BAP
- Intégration des progrès effectués dans la fabrication et la conception des bétons en cohérence avec la norme NF EN 206-1
- Intégration des nouvelles propriétés et performances des bétons (en particulier les BAP)
- Prise en compte des évolutions des procédures de certification, du marquage CE et de la marque NF
- Intégration des principes essentiels du management de la qualité (ISO 9001).

## **4.2 Définition et spécification des bétons**

Les bétons utilisés sont des bétons de structure conformes à la norme NF EN 206-1 incluant son annexe nationale.

La définition et les spécifications des bétons peuvent intégrer des exigences spécifiques du marché.

Elles doivent prendre en compte différentes exigences éventuellement explicitées par d'autres textes :

- La prévention des désordres dus à l'alcali-réaction
- La prévention des désordres dus aux réactions sulfatiques internes
- La durabilité des bétons soumis au gel ou au gel et aux fondants, selon les classes d'exposition
- La limitation de la fissuration
- La limitation des retraits thermiques, endogène et de dessiccation
- La qualité des parements.

Un Béton à Propriétés Spécifiées (BPS) est défini par partie d'ouvrage. Le prescripteur peut exiger des caractéristiques complémentaires.

Les spécifications des BPS doivent être validées par le Maître d'Œuvre avant transmission au producteur de BPE.

En général les bétons utilisés sont des BPS. Le recours aux bétons à Composition Prescrite (BCP) n'est envisagé que pour des cas particuliers sous réserve de justification et sous la responsabilité du prescripteur.

Le béton peut être :

- NA : béton non armé (sans armature ni pièce métallique noyée)
- BA : béton armé
- BP : béton précontraint

#### • 4.2.1 Choix des classes d'exposition - art. 81.2.1

Les classes d'exposition sont choisies pour chaque partie d'ouvrage parmi celles définies par la norme NF EN 206-1. Le choix des classes d'exposition (comme celui de la durée d'utilisation du projet) relève de la responsabilité du Maître d'Ouvrage (chapitre 4). Chaque partie d'ouvrage peut être classée dans plusieurs classes d'exposition. Le béton utilisé dans cette partie d'ouvrage doit alors respecter toutes les exigences de chaque classe d'exposition retenue.



Plusieurs classes d'exposition peuvent se combiner sur une même partie de l'ouvrage (par exemple XA1 et XF3).



Conformément aux « Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel », les classes d'exposition retenues vis-à-vis des attaques par le gel et les sels de déverglaçage sont fonction des zones de gel, des zones de salage et du degré d'exposition de l'élément :

Les zones de gel modéré et gel sévère sont définies dans l'annexe nationale française de la norme NF EN 206-1.

Les zones de salage correspondent aux zones hivernales des « Recommandations ». Ce document donne les classes de gel suivantes :

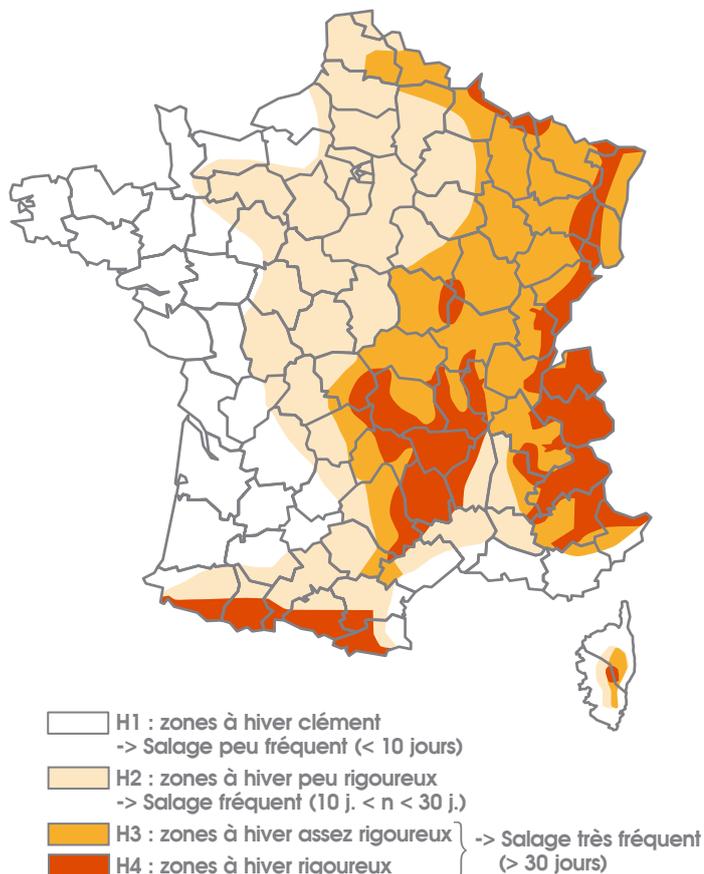
- Gel faible : < 2 j ayant atteint -5°C
- Gel sévère : > 10 j ayant atteint -10°C
- Gel modéré : entre gel faible et gel sévère

Cette classification sert de base à la spécification pour les ouvrages des itinéraires à forte circulation. Pour les itinéraires moins circulés, une classification moins sévère est envisageable.

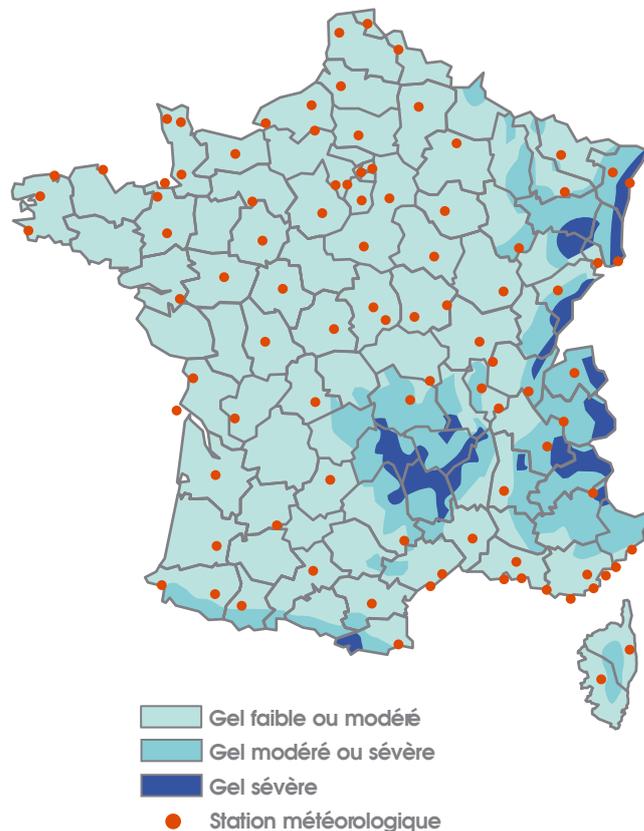
L'exposition aux sels de déverglaçage est jugée sur la base de degré de saturation en eau du béton de l'élément soumis à des projections directes de sels.

- Modérée : surfaces verticales non directement soumises aux projections de sels,
- Forte : surfaces sensiblement horizontales et surfaces verticales directement soumises aux projections de sels - exemples : corniches...

Climatologie hivernale



Gel LCPC



	Gel modéré	Gel sévère
Salage peu fréquent	XF1	XF3
Salage fréquent	XF2 + XD3	XF4
Salage très fréquent	XF4	XF4

Ces prescriptions sont plus sévères que celles de la norme NF EN 206-1. Elles privilégient la fréquence de salage. Une classe d'exposition XF4 est ainsi retenue en zone de gel modéré (limitée à XF2 selon la norme NF EN 206-1) si le salage est très fréquent (classe hivernale H3 ou H4). Il convient de veiller à ne pas aller au-delà car les abus de prescription (comme une spécification en XF4 en zone de salage peu fréquent) seraient susceptibles de pénaliser la solution constructive « béton ».

Vis-à-vis de la **carbonatation**, les bétons exposés à l'air en extérieur relèvent de la classe XC4.

#### • 4.2.2 Spécifications particulières en fonction des classes d'exposition – art. 81.2.2

Le fascicule 65 présente un tableau de spécifications complémentaires à celles de la norme NF EN 206-1 avec un regroupement de classes d'exposition :

- XC1 – XC2 – XC3
- XC4 – XS1 – XS2 – XD1 – XD2 – XF1 – XF2 – XA1
- XF3
- XS3 – XD3 – XA2
- XF4

► Ces regroupements diffèrent de ceux du tableau NA F1 de la norme NF EN 206-1.

**Il s'agit de regroupements pour définir les spécifications. La classe d'exposition figurant sur le bon de livraison du Béton Prêt à l'Emploi doit être celle de la commande.**

Les spécifications sont inspirées des « Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel. »

**Le fascicule 65 est plus exigeant que la norme NF EN 206-1 pour assurer la durabilité d'ouvrages importants s'inscrivant dans des plans durables d'aménagement du territoire.**

**Tableau de spécifications complémentaires du fascicule 65**

SPECIFICATIONS	CLASSES D'EXPOSITION					
	Type de béton	XC1/XC2 XC3	XC4 XS1/XS2 XD1/XD2 XF1/XF2 XA1	XF3	XS3 XD3 XA2	XF4
E eff./Liant équiv. Rapport maximal	BA-BP	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45
Classe minimale de résistance	BA BP	C25/30 C30/37	C30/37 C35/45	C30/37 C35/45	C35/45 C35/45	C35/45 C35/45
Teneur minimale en liant équiv.	BA-BP	280	330	385	350	385
Ciment	BP	CP	CP	CP	CP	CP

	NF en 206-1	Fascicule 65 A
	XF3	XF3
E eff./Léq. maxi	0,55	BA : 0,50 BP : 0,50
Résistance mini	C30/37	BA : C30/37 BP : C35/45
Dosage mini en Léq. en kg/m <sup>3</sup>	315	BA : 385 BP : 385

**Exemple de comparaison des spécifications de la norme et du fascicule pour la classe XF3**

## Spécifications complémentaires :

### Bétons XF3 ou XF4 :

Une réduction du dosage en liant équivalent est possible sous réserve de justifier de la résistance au gel interne (normes P 18-424 et P 18-425). Les « Recommandations pour la durabilité des bétons soumis au gel » imposent toujours l'essai de résistance à l'écaillage (XP P 18-420) en cas de gel en présence de sels de déverglaçage.



*Essai de résistance au gel interne*



*Effet du gel interne*



*Effet de l'écaillage*



*Essai de résistance à l'écaillage*

Il paraît important d'attirer l'attention sur les délais nécessaires à la réalisation des essais spécifiques de gel. Ces délais sont relativement importants : 3,5 mois pour l'essai de gel interne et près de 4 mois pour l'essai d'écaillage. La présence de cendres volantes y compris dans les ciments est interdite pour les bétons soumis aux classes d'exposition XF3 et XF4.

### Bétons XS : ciment PM

### Bétons XF2 ou XF4 :

Ciment PM ou ES si la teneur en sulfates solubles des sels de déverglaçage est supérieure à 3 % (ce qui est contraire à la norme européenne sur les sels fondants NF P 98-180) (*id. recommandations Gel/Sel*).

### Bétons XD :

Ciment PM ou ES si l'agression provient de sels de déverglaçage ou d'agents agressifs contenant des sulfates.

### Bétons XF3, XF4, XA :

Le dosage minimum en liant équivalent peut être modifié sous réserve de vérifier la durabilité du béton par une approche performantielle (*guide « conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages » - AFGC 2003*).

**Bétons XF3, XF4 :** la présence de cendres volantes, y compris dans le ciment, est interdite.

### • 4.2.3 Les exigences complémentaires - art. 81.4



Outre les données de base définies dans la norme NF EN 206-1, le prescripteur spécifie les données complémentaires résultant de la prise en compte des points suivants :

#### Désordres dus à l'alcali-réaction

« *Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction* » + 1994.

#### Réactions sulfatiques internes

« *Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne* » Guide technique - Août 2007



#### Gel ou gel + fondants

« *Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel* » Guide technique - décembre 2002

- Limitation de la fissuration du béton
- Limitation des retraits thermiques, endogènes, de dessiccation
- Qualité des parements

Consistance : le prescripteur impose une valeur cible (NF EN 206-1, art. 5.4.1).

Les Bons de Livraison détaillés et les bons de pesée doivent être fournis.

### Exemple de bon de livraison

<b>SUPERMIX</b> 2, rue du Roi 75000 PARIS Tél : 01.40.80.53.12 Fax : 01.40.80.53.55		Contrôle de : Charentes Bass n° : 3404 Camion n° : 720 Volume (m³) : 6 Date : 04/01/2005	Heures (1) 1ère gâchée : 7 h 00 Arrivée chantier : convenue : 7 h 30 réelle : 7 h 35 Début déchargement : 7 h 35 Fin déchargement : 8 h 00							
Client : MPL Charrier : 16, rue de la Révolution 94400 VITRY-sur-SEINE	Référence commande : (2)									
Désignation	Certification ou Attestation	Classe d'exposition (3)	Classe d'ouvrages	Résistance caractéristique (4)	Type et classe du ciment	Type Additions	Dosage (5) t/m³	Consistance	Dmax	Type adjuvant
BPS NF EN 206-1	NF	XF1 (F)	0,4	C25/30	CEMII 52,5 N	V		S4	20	PRE
OU										
BCPN ou BCPE (6)	NF				CEMII/L 42,5R PM-CP1		350	S3 (7)	20	
OU										
Produit spécial (8) ou référence à une autre norme de produit										
Appellation commerciale									Conseils de sécurité: En aucun cas nos produits ne doivent entrer en contact avec la peau ou les muqueuses au risque de provoquer des allergies, des rougeurs ou des brûlures.	Xi: Irritant 
Propriétés particulières spécifiées										
Livraison réceptionnée, le client : (Signature)				Ajout sur chantier (9) Type et quantité : Demandeur :		Signature :				
(1) Sauf dispositions particulières, le béton doit être mis en œuvre, au plus tard, 2 heures après la fabrication de la première gâchée. (2) Cette case est obligatoirement remplie dans le cas d'un BCPE et dans les autres cas seulement si spécifié. (3) La classe Xi ne peut convenir que pour des bétons ne subissant aucune agression, non armés ou faiblement armés avec un enrobage d'au moins 5 cm. (4) Indiquer le mode de contrôle du béton (cylindres ou cubes) (5) Dosage minimal en lait équivalent, si spécifié par le client pour les BPS ; dosage nominal en ciment pour les BCP. (6) BCPN : Béton à Composition Prescrite dans la Norme NF P 18-201 ; BCPE : Béton à Composition Prescrite sur Etude-client. (7) Ou rapport E/C suivant la spécification. (8) L'appellation PRODUIT SPECIAL ne peut être utilisée pour des bétons entrant dans le domaine d'application de la norme NF EN 206-1. (9) Tout ajout sur chantier non prévu dans la formulation du béton rend le béton non conforme à la norme NF EN 206-1.										

Les cases grisées doivent être remplies si spécifiées à la commande

#### • 4.2.4 La teneur en chlorures - art. 81.6



La classe CI 0,15 % est retenue pour les bétons précontraints par pré-tension.

► *Le producteur de Béton Prêt à l'Emploi doit fournir un bilan complet de la teneur en chlorures du béton avec l'apport de tous les constituants (sur la base des données des étiquettes CE).*

### 4.3 Les constituants - art. 82

#### • 4.3.1 Choix et dosage

Le choix et le dosage des constituants doivent :

- Conférer au béton une compacité convenable
- Permettre de : - Atteindre le niveau de performances requis (valeur au cône sur chantier contrôlée par rapport à une valeur cible...).
- Respecter les exigences de qualité des parements.
- Satisfaire aux conditions liées à l'environnement et au type de béton.

#### • 4.3.2 Les ciments - art. 82.1

**Ils sont conformes aux normes en vigueur et bénéficient d'une certification de conformité comme la marque NF Liants Hydrauliques.**

Le choix du ciment prend en compte l'agressivité chimique du milieu (fascicule de documentation FD P 18-011) et la prévention des réactions sulfatiques internes.



Pour satisfaire les exigences de qualité des parements (art. 63.2.3.2.) :

- le ciment doit être d'une même catégorie et d'une même provenance pour assurer une teinte homogène.
- Les ciments contenant des cendres volantes doivent :
  - provenir d'un même lot d'approvisionnement
  - ou
  - bénéficier de dispositions assurant l'homogénéité de l'approvisionnement dans le plan qualité.

► *Ces clauses rendent difficile l'utilisation de ciment contenant des cendres.*

### • 4.3.3 Les granulats – art. 82.2

**Ce sont des granulats naturels courants conformes aux normes NF EN 12-620 et XP P 18-545.**



« Ils bénéficient d'une certification de conformité émanant d'un organisme certificateur officiel (marque NF-Granulats), ou font l'objet d'une procédure de contrôle reconnue équivalente. »

Les spécifications des granulats sont exprimées selon la norme XP P 18-545 (conformément à la NF EN 206-1). Les Fiches Techniques Produits (FTP) des granulats sont nécessaires en complément des étiquettes CE.

Si le béton a une classe de résistance supérieure à C35/45, les granulats récupérés sur l'installation sont interdits. S'il a une classe de résistance inférieure, les granulats récupérés peuvent être autorisés sous conditions.



Catégories requises pour les granulats (XP P 18-545) :

- Si le béton a une classe de résistance supérieure ou égale à C35/45 : code A (une ou deux caractéristiques pouvant être en code B après étude ou références).
- Si le béton a une classe de résistance inférieure à C35/45 : code B (une ou deux caractéristiques pouvant être en code C après étude ou références).

La classification des granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction : (NR, PRP, PR ou NQ) doit être indiquée. Pour les bétons apparents, la présence de grains de pyrite de plus de 2 mm est interdite.

Pour satisfaire aux exigences de qualité des parements (art 63.2.3.2), les granulats doivent :

- être d'origine unique avec un approvisionnement homogène,
- être exempts de pyrite, argile, charbon et matière organique,
- avoir une teneur en fines maîtrisée.

### • 4.3.4 L'eau de gâchage - art. 82.3

Elle est conforme à la norme NF EN 1008.

L'eau du réseau d'adduction d'eau potable est réputée conforme.

L'utilisation d'eau de mer est interdite.

Des prescriptions complémentaires s'imposent lorsque le béton est soumis à des exigences portant sur l'aspect (parements - art. 63.2.3.2) :

L'eau de gâchage doit être propre et, en particulier, ne pas contenir de particules ferrugineuses ou de colorants en suspension ;

► *Les eaux recyclées sont interdites pour satisfaire à l'exigence de régularité de teinte des bétons apparents.*

## 4.4 Fabrication et transport (art. 83 ; annexe B)

- Les bétons et la centrale BPE doivent bénéficier de la certification NF BPE qui atteste de la conformité à la norme NF EN 206-1. La centrale doit de plus respecter les spécifications complémentaires de l'annexe B du fascicule 65.

L'ajustement maximal de la quantité d'eau : est réduit à 10 l/m<sup>3</sup> ( $\pm 20$  l/m<sup>3</sup> avec la marque NF BPE). Ceci impose de mettre en place un contrôle renforcé de la teneur en eau des granulats et des sondes hygrométriques.



Indications des sondes hygrométriques des cases à sable



Tolérances plus strictes que **NF EN 206-1** et **NF BPE**

CONSTITUANTS	90 % des charges			100 % des gâchées	
	NF BPE	FASCICULE 65	NF EN 206-1	NF BPE	FASCICULE 65
Ciment	+/- 3 %	+/- 2 %	+/- 3 %	+/- 6 %	+/- 4 %
Addition + ciment	+/- 3 %	+/- 2 %		+/- 6 %	+/- 6 %
Eau pesée	+/- 3 %	+/- 2 %	+/- 3 %	+/- 6 %	+/- 4 %
Sable (sauf correcteur)	+/- 4 %	+/- 2 %		+/- 8 %	+/- 4 %
Gravillon (sauf intermédiaire)	+/- 4 %	+/- 2 %		+/- 8 %	+/- 4 %
Sable correcteur	+/- 11 %	+/- 10 %		+/- 20 %	+/- 20 %
Gravillon intermédiaire	+/- 11 %	+/- 10 %		+/- 20 %	+/- 20 %
Ensemble de granulats	+/- 3 %	+/- 2 %	+/- 3 %	+/- 6 %	+/- 4 %
Adjuvants			+/- 5 %	+/- 5 %	+/- 5 %

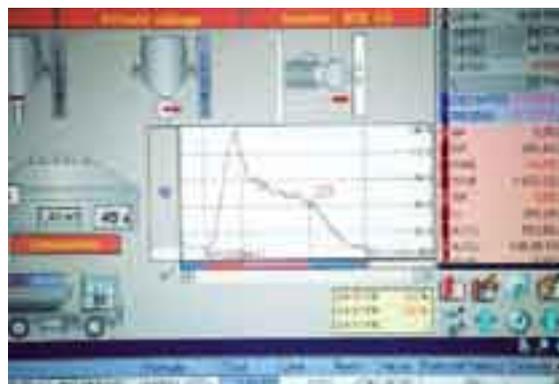
 NF BPE

 FASCICULE 65

 NF EN 206-1

Le temps de malaxage est au minimum de 55 secondes. Les bétons fortement adjuvantés, par exemple les BHP, peuvent nécessiter un temps de malaxage nettement supérieur.

L'ensemble de ces prescriptions sur la fabrication des bétons valorise le travail réalisé pour la Marque NF BPE. Les tolérances plus strictes que celles du règlement particulier de la marque imposent un contrôle renforcé de la production.



## 4.5 L'évaluation de la conformité

### Contrôle producteur

Le producteur doit respecter les exigences de la norme NF EN 206-1 et celles du référentiel de la marque NF BPE en matière de contrôle de production avec la vérification des résultats obtenus et le respect des prescriptions de fabrication, transport et livraison. La vérification de la conformité de la résistance à la compression est basée sur les critères du tableau 14 de la norme avec vérification de l'écart-type. Pour des chantiers importants (se prolongeant sur de longues périodes), cette vérification peut être exigée sur les bétons réellement mis en œuvre pour chaque formule.

### Contrôle acquéreur - contrôle intérieur de l'entrepreneur - art. 86

Les essais sur béton frais et béton durci sont à réaliser en suivant les prescriptions issues de l'expérience française (fascicule de documentation FD P 18-547) et de l'article 89 du fascicule 65.

Les critères de conformité sont :

$$f_{cm} \geq f_{ck} + k1$$

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$$

avec :

**f<sub>cm</sub>** la moyenne arithmétique des résultats,

**f<sub>ci</sub>** le plus petit résultat,

**f<sub>ck</sub>** la résistance caractéristique requise,

**k1** donné par le tableau page suivante (en MPa)

VALEURS DE K1		
n	Premier cas	Autres cas
3	2	2,7
6	3	3,4
9	3,3	3,7
12	3,5	3,8
≥15	<b>1,2 S</b>	<b>1,3 S</b>

n est le nombre de prélèvements par lot.

S est l'estimateur de l'écart type de la population représentée par les résultats.

Premier cas : béton NF + centrale conforme aux spécifications de l'Annexe B.

Autres cas : centrale non certifiée.

### Conservation des éprouvettes

La conservation des éprouvettes est déterminante dans l'évolution de la résistance du béton.

- Avant démoulage : soit
  - local entre 15 et 30°C
  - Si température < 15°C -> caisse calorifugée
- Après démoulage -> dans les 3 heures en atmosphère normalisée.



*Avant démoulage*



*Après démoulage*

## 4.6 Les épreuves d'études

La justification de la résistance caractéristique est prescrite pour les bétons de classe de résistance strictement supérieure à C 25/30.

- Béton disposant de références probantes :
  - A déjà été fabriqué dans des conditions équivalentes
  - Les n résultats de résistance obtenus pour des bétons de consistance convenable vérifient :
    - $n \geq 12$
    - $f_{cmn} \geq f_{ck} + K(n) S$
    - $f_{cmn} \geq f_{ck} + 6$

$f_{cmn}$  est la moyenne arithmétique des n résultats,  
 $S$  est l'estimation de l'écart-type de la distribution des résistances ,  
 $f_{ck}$  est la résistance caractéristique spécifiée,  
 $K(n)$  est un coefficient, fonction du nombre de résultats.

<b>n</b>	12	40	75	100	200
<b>K(n)</b>	2,0	2,0	1,9	1,86	1,80

- Béton ne disposant pas de références probantes :
  - Épreuve d'étude = 1 gâchée -> 1 consistance + 3 éprouvettes
  - La moyenne des résistances mesurée  $f_{CE}$  vérifie :
    - $f_{CE} \geq f_{ck} + \lambda (CE - C_{min})$
    - $f_{CE} \geq f_{ck} + 2 S (S \geq 3)$
    - f<sub>ck</sub>** étant la résistance caractéristique spécifiée,
    - C<sub>min</sub>** la valeur minimale de la résistance à la compression à 28 jours pouvant être respectée pour le ciment choisi, (observée),
    - CE** la résistance à la compression à 28 jours du ciment utilisé pour l'exécution de l'épreuve,
    - $\lambda$  un coefficient pris égal à 1, sauf justification probante,
    - S** l'écart-type prévisionnel de la distribution des résistances.

## 4.7 Les épreuves de convenance

Les épreuves de convenance permettent de vérifier a priori que le béton défini par sa formule nominale, fabriqué, transporté et mis en œuvre dans les conditions du chantier répond aux exigences du marché. Les critères de conformité sont ceux de l'épreuve d'étude, le critère faisant intervenir la résistance du ciment ne s'appliquant que lorsque la période d'utilisation (délai entre l'épreuve de convenance et la fin du chantier) excède trois mois. Le nombre de gâchées de l'épreuve est fonction des références disponibles pour la formule :

- Le béton dispose de références probantes :  Une seule gâchée.
- Le béton ne dispose pas de références probantes :  Trois gâchées minimum.

## 4.8 Conclusion

La prescription d'un ouvrage en référence au Fascicule 65 suppose que celui-ci soit pris dans son intégralité et que le prescripteur vérifie sa cohérence globale. S'il utilise en plus d'autres textes (normes, DTU, recommandations etc..), il doit alors :

- veiller à ce qu'ils n'entrent pas en contradiction avec le Fascicule 65
- vérifier que l'addition de ces textes n'aboutit pas à des sur-prescriptions (par exemple XF 4 en zone de gel faible)

Le Fascicule 65 a tenu compte des évolutions normatives (Norme NF EN 206-1, Eurocodes), et malgré son antériorité n'est pas en contraction avec la norme NF EN 13670 - Exécution des ouvrages en béton - dont il pourrait constituer l'un des textes d'application nationale.

Le SNBPE souhaiterait néanmoins, qu'une prochaine révision du Fascicule 65 optimise l'ensemble des exigences du développement durable, en ne s'arrêtant pas à la seule durabilité des ouvrages mais en prenant également en compte le processus de fabrication du béton.

Un certain nombre de prescriptions du fascicule sont en effet difficilement compatibles avec une bonne gestion environnementale des centrales à béton.

- Interdiction d'utiliser des eaux recyclées pour les bétons à parement vu, alors que les centrales sont normalement dans l'obligation du « zéro rejet » (que faire des eaux de lavage ?).
- Interdiction d'utiliser des granulats de récupération pour des bétons C 35/45 ou plus.
- Prescriptions rendant difficile l'utilisation de ciments avec cendres volantes.
- Surdosage en ciment par rapport à la norme béton.

Il serait donc souhaitable d'assouplir ces règles en trouvant un juste équilibre entre les exigences techniques de qualité et les exigences environnementales.

## Lexique :

---

**Alcali réaction :** réaction entre les alcalins du béton et certains granulats réactifs, qui entraîne la formation d'un gel expansif.

**Approche performantielle :** méthode qui utilise des caractéristiques du béton comme indicateurs de prévision de son évolution dans les conditions de sa mise en œuvre et de son vieillissement.

**Béton armé :** béton dans lequel des armatures d'acier judicieusement disposées, reprennent les efforts de traction.

**Béton autoplaçant (BAP) :** béton de haute technicité, destinés à être mis en œuvre sans vibration.

**Béton précontraint :** béton auquel des forces sont appliquées par la mise en tension d'armatures.

**Carbonatation :** réaction chimique de combinaison de la chaux libre du béton avec le gaz carbonique de l'air.

**Cure du béton :** protection d'un béton pendant la phase de prise et de durcissement pour éviter sa dessiccation.

**Durabilité :** Qualité de ce qui présente une stabilité de ses propriétés sur une grande durée.

**Enrobage :** Épaisseur de béton entre une armature et la peau de la paroi coulée, qui permet d'assurer la protection contre la corrosion du ferrailage.

**Prescripteur du béton :** personne physique ou morale qui établit la spécification du béton frais et durci.

**Producteur de béton :** personne physique ou morale produisant du béton frais.

**Réaction sulfatique interne :** formation différée d'ettringite du fait d'une réaction impliquant les sulfates présents dans le béton.

**Retrait de dessiccation :** retrait du béton résultant de l'évaporation de l'eau pendant la prise et le durcissement.

**Retrait endogène :** retrait du à la contraction du béton pendant la prise et le durcissement.

**Retrait thermique :** retrait du fait du refroidissement postérieur à l'élévation de température qui accompagne l'hydratation du ciment.

**Sonde hygrométrique :** appareil de mesure de l'humidité du sable qui va être utilisé pour fabriquer du béton.

**Utilisateur :** personne physique ou morale qui utilise du béton frais pour l'exécution d'une construction ou d'un élément.

## Références bibliographiques :

---

« Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel. »

**Guide technique. LCPC, 2003, 167 p.**

« Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction. »

**Guide technique. LCPC, 1994.**

« Recommandations pour la prévention de la réaction sulfatique interne du béton. »

**Guide technique. LCPC, 2007.**

« Défauts d'aspect des parements en béton. »

**Guide technique. LCPC, 1991.**

« Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages. »

**Guide technique. AFGC, 2003.**

« Valorisation des bétons à hautes performances dans les piles et pylônes de grande hauteur des ouvrages d'art. »

**Guide Technique. LCPC, 2003.**

« Valorisation des bétons à hautes et très hautes performances dans les structures d'ouvrages d'art. »

**Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 246-247, 2003.**

« Recommandations pour l'exécution des reprises de bétonnage. »

**Coédition CEBTP, FFB, SETRA, 2000.**

« La résistance du béton dans l'ouvrage : la maturométrie. »

**Guide technique. Coédition LCPC/IREX/CALIBE, Techniques et méthodes des LPC.**

« Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages - Maîtrise de la durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures et de l'alcali-réaction. »

**Guide AFGC 2004.**



3, rue Alfred Robt - 75 849 Paris Cedex 17  
tel : 01 44 01 47 01  
fax : 01 44 01 47 47  
[www.stbce.org](http://www.stbce.org)



Syndicat National  
du Béton Pisé à l'Étrépieux

