

Présentation générale de l'Eurocode 2



Florent IMBERTY

Pont-à-Mousson, 28 juin 2005

Historique du programme des Eurocodes

- 1971 : directive Marchés publics de travaux
- 1976 : lancement des premiers Eurocodes
- 1980 : mise à l'enquête des Eurocodes
- 1989 : directive Produits de Construction
- 1989 : transfert des Eurocodes au CEN => début ENV
- 1991-1998 : publication des ENV
- 1998 : début de la transformation des ENV en EN
- 2005 : achèvement du programme des Eurocodes
- 2004-2007 : publication des Eurocodes en France et de leurs annexes nationales
- Au-delà : maintenance des Eurocodes...

- 59 Eurocodes regroupés en 10 familles
- Eurocodes transversaux :

EN1990 : Bases de calcul

EN1991 : Actions sur les structures

EN1997 : Géotechnique

EN1998 : Sismique

- Eurocodes « Matériaux » :

EN1992, EN1993, EN1994, EN1995, EN1996, EN1999

- Le processus d'élaboration et d'approbation :
 - Élaboration du document par le CEN (TC250)
 - Mise à l'enquête
 - Vote formel par les différents états membres (EN1990 : juillet 2001)
 - Prise en compte des observations faites à l'occasion du vote formel (groupe d'édition)
 - Ratification par le CEN (EN1990 : 29/11/2001)
 - Mise à disposition (MAD) du document auprès des instituts de normalisation nationaux (EN1990 : 24/02/2002) = Date de référence du texte (EN1990:2002)
 - Transposition dans les pays membres par publication d'un texte identique (maxi 6 mois à partir de la MAD) (EN1990 : 20/03/2003)
 - Rédaction et publication de l'annexe nationale (2 ans à partir de la MAD) (EN1990 : 05/06/2004)
 - Mise en application : possible dès publication AN, au plus tard mars 2010

Les principaux Eurocodes en ouvrages d'art

<i>Eurocode</i>	<i>Titre</i>	<i>Date</i>	<i>Statut</i>
EN 1990	Bases de calcul des structures		
NF EN 1990 (NF P 06-100-1)	Bases de calcul des structures	mars 2003	Publié
<i>NF P 06-100-2</i>	<i>Annexe nationale de l'Eurocode 1990</i>	<i>juin 2004</i>	<i>Publié</i>
EN1990 Annexe A2 (pr NF EN 1990/A1)	Application aux ponts		Voté CEN ; publication NF en cours
EN 1991	Actions sur les structures		
NF EN 1991-1-1 (NF P 06-111-1)	Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments	mars 2003	Publié
<i>NF P 06-111-2</i>	<i>Annexe nationale pour la NF EN 1991-1-1</i>	<i>juin 2004</i>	<i>Publié</i>
NF EN 1991-1-2 (NF P 06-112-1)	Actions sur les structures exposées au feu	juillet 2003	Publié ; AN en cours
NF EN 1991-1-3 (NF P 06-113-1)	Actions générales – Charges de neige	avril 2004	Publié ; AN prête
EN 1991-1-4	Actions générales – Actions du vent		Voté CEN ; publication NF en cours (avant septembre 2005) ; AN en cours
NF EN 1991-1-5	Actions générales – Actions thermiques	mai 2004	Publié ; AN en cours
EN 1991-1-6	Actions générales – Actions en cours d'exécution		Voté CEN ; publication NF en cours (avant décembre 2005)
prEN 1991-1-7	Actions accidentelles		Vote CEN en cours
NF EN 1991-2	Actions sur les ponts, dues au trafic	mars 2004	Publié
XP ENV 1991-3	Annexe nationale de l'ENV1991-3 (charges sur les ponts dues au trafic)	octobre 1997	en attendant l'AN de l'EN1991-2

Les principaux Eurocodes en ouvrages d'art

<i>Eurocode</i>	<i>Titre</i>	<i>Date</i>	<i>Commentaire</i>
EN 1992	Calcul des structures en béton		
EN 1992-1-1	Règles générales et règles pour les bâtiments		Voté CEN ; publication NF en cours (avant juin 2005) ; AN en cours
EN 1992-2	Ponts en béton – Calcul et dispositions constructives		Voté CEN ; en attente mise à disposition ; AN en cours
EN 1993	Calcul des structures en acier		
EN 1993-1-1	Règles générales et règles pour les bâtiments		Voté CEN ; publication NF en cours
EN 1993-1-5	Plaques planes chargées dans leur plan		Voté CEN
EN 1993-1-8	Calcul des assemblages		Voté CEN ; publication NF en cours
EN 1993-1-9	Résistance à la fatigue		Voté CEN ; publication NF en cours
EN 1993-1-10	Choix des qualités d'aciers		Voté CEN ; publication NF en cours
EN 1993-1-11	Calcul des structures à cables ou elements tendus		Voté CEN ; en attente mise à disposition
EN 1993-2	Ponts métalliques		Voté CEN ; en attente mise à disposition
EN 1994	Calcul des structures mixtes acier-béton		
NF EN 1994-1-1 (NF P 22-391-1)	Règles générales et règles pour les bâtiments	juin 2005	Publié
EN 1994-2	Ponts mixtes		Voté CEN ; en attente mise à disposition

Les principaux Eurocodes en ouvrages d'art

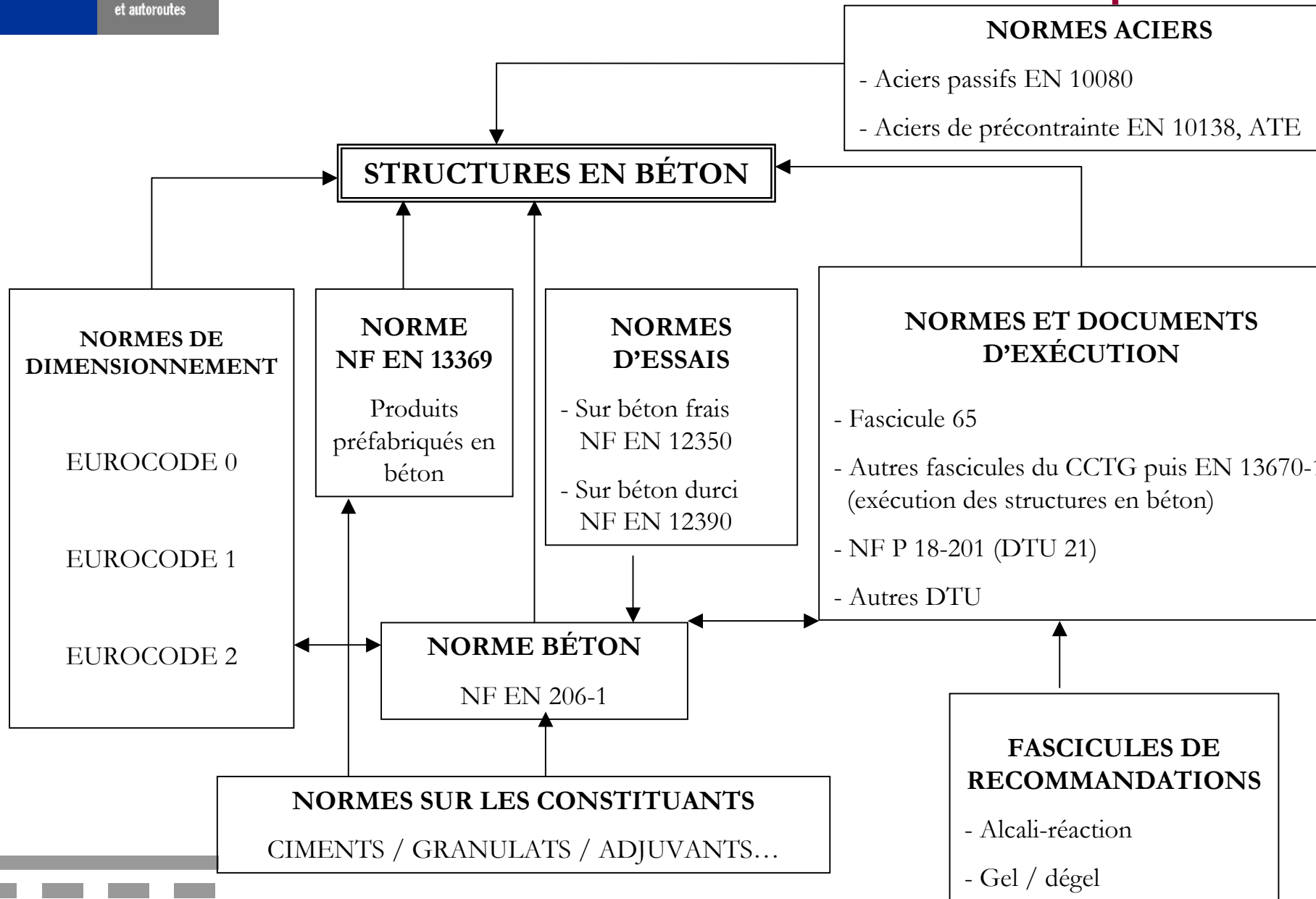
<i>Eurocode</i>	<i>Titre</i>	<i>Version</i>	<i>Commentaire</i>
EN 1997	Calcul géotechnique		
NF EN 1997-1 (P94-251-1)	Règles générales	juin 2005	Publié
EN 1998	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes		
EN 1998-1	Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments		Voté CEN ; publication NF en cours
EN 1998-2	Ponts		Vote CEN en cours
EN 1998-5	Fondations, structures de soutènement et aspects géotechniques		Voté CEN ; publication NF en cours

L'Eurocode 2 : Calcul des structures en béton

- Remplace le BAEL, BPEL et un certain nombre de DTUs en bâtiment
- Grands principes inchangés. Différences dans le détail
- Origine :
 - CEB : code modèle 78
 - ENV 1992-1-1 : publié en décembre 1992 avec son DAN
 - CEB : code modèle 90
 - EN 1992-1-1 : 2004

Nota : beaucoup de changements entre ENV et EN

L'Eurocode 2 dans le cadre normatif européen



➤ Phase normes expérimentales ENV 1992

ENV 1992-1-1	Règles générales et règles pour bâtiments
ENV 1992-1-2	Calculs au feu
ENV 1992-1-3	Éléments et structures en béton préfabriqués
ENV 1992-1-4	Béton de granulats légers
ENV 1992-1-5	Précontrainte extérieure ou non-adhérente
ENV 1992-1-6	Béton non armé
ENV 1992-2	Ponts en béton armé et béton précontraint
ENV 1992-3	Fondations en béton
ENV 1992-4	Silos et réservoirs

➤ Phase définitive EN 1992

EN 1992-1-1	Règles générales et règles pour bâtiments
EN 1992-1-2	Calcul du comportement au feu
EN 1992-2	Ponts en béton - Calcul et dispositions constructives
EN 1992-3	Silos et réservoirs

Organisation de l'EN1992-1-1

- Le texte européen : EN1992-1-1, voté en 3 langues (français, anglais, allemand)

Table des matières

Avant-propos européen

Liste des paragraphes soumis à choix nationaux

Sections 1 à 12

Annexes A à J (informatives, sauf annexe C normative)

- Le texte français : NF EN 1992-1-1

Avant-propos national

Texte européen reproduit intégralement

- L'annexe nationale : NF P ...

Pour chaque paragraphe soumis à AN, choix à faire :

- Valeurs numériques (NDP)

Clause 2.4.2.3 (1) Note

(1) Pour l'application en France de la norme européenne EN 1992-1-1:2004, la valeur de $\gamma_{F, \text{fat}}$ à utiliser est celle recommandée.

- Choix entre méthodes alternatives

Clause 5.10.1 (6)

(1) Pour l'application en France de la norme européenne EN 1992-1-1:2004, les méthodes à utiliser sont les méthodes A, B et E.

- Choix sur le statut des annexes informatives

AN 8 Application nationale de l'Annexe G " Interaction sol-structure"

(1) Pour l'application en France de la norme européenne EN 1992-1-1:2004, l'Annexe G est applicable et conserve un caractère informatif.

- Autres documents d'accompagnement possibles

Les paramètres à choisir dans l'annexe nationale

Les choix nationaux sont admis dans l'EN 1992-1-1 aux paragraphes suivants :

- Annexe nationale :
Travail en cours...
- Publication attendue
courant 2006

2.3.3 (3)	5.10.3 (2)	9.2.2 (7)
2.4.2.1 (1)	5.10.8 (2)	9.2.2 (8)
2.4.2.2 (1)	5.10.8 (3)	9.3.1.1(3)
2.4.2.2 (2)	5.10.9 (1)P	9.5.2 (1)
2.4.2.2 (3)	6.2.2 (1)	9.5.2 (2)
2.4.2.3 (1)	6.2.2 (6)	9.5.2 (3)
2.4.2.4 (1)	6.2.3 (2)	9.5.3 (3)
2.4.2.4 (2)	6.2.3 (3)	9.6.2 (1)
2.4.2.5 (2)	6.2.4 (4)	9.6.3 (1)
3.1.2 (2)P	6.2.4 (6)	9.7 (1)
3.1.2 (4)	6.4.3 (6)	9.8.1 (3)
3.1.6 (1)P	6.4.4 (1)	9.8.2.1 (1)
3.1.6 (2)P	6.4.5 (3)	9.8.3 (1)
3.2.2 (3)P	6.4.5 (4)	9.8.3 (2)
3.2.7 (2)	6.5.2 (2)	9.8.4 (1)
3.3.4 (5)	6.5.4 (4)	9.8.5 (3)
3.3.6 (7)	6.5.4 (6)	9.10.2.2 (2)
4.4.1.2 (3)	6.8.4 (1)	9.10.2.3 (3)
4.4.1.2 (5)	6.8.4 (5)	9.10.2.3 (4)
4.4.1.2 (6)	6.8.6 (1)	9.10.2.4 (2)
4.4.1.2 (7)	6.8.6 (2)	11.3.5 (1)P
4.4.1.2 (8)	6.8.7 (1)	11.3.5 (2)P
4.4.1.2 (13)	7.2 (2)	11.3.7 (1)
4.4.1.3 (1)P	7.2 (3)	11.6.1 (1)
4.4.1.3 (3)	7.2 (5)	11.6.1 (2)
4.4.1.3 (4)	7.3.1 (5)	11.6.2 (1)
5.1.3 (1)P	7.3.2 (4)	12.3.1 (1)
5.2 (5)	7.3.4 (3)	12.6.3 (2)
5.5 (4)	7.4.2 (2)	11.6.4.1(1)
5.6.3 (4)	8.2 (2)	A.2.1 (1)
5.8.3.1 (1)	8.3 (2)	A.2.1 (2)
5.8.3.3 (1)	8.6 (2)	A.2.2 (1)
5.8.3.3 (2)	8.8 (1)	A.2.2 (2)
5.8.5 (1)	9.2.1.1 (1)	A.2.3 (1)
5.8.6 (3)	9.2.1.1 (3)	C.1 (1)
5.10.1 (6)	9.2.1.2 (1)	C.1 (3)
5.10.2.1 (1)P	9.2.1.4 (1)	E.1 (2)
5.10.2.1 (2)	9.2.2 (4)	J.1 (3)
5.10.2.2 (4)	9.2.2 (5)	J.2.2 (2)
5.10.2.2 (5)	9.2.2 (6)	J.3 (2)
		J.3 (3)

Sommaire de l'EN1992-1-1 (hors annexes)

1. Généralités
2. Bases de calcul
3. Matériaux
4. Durabilité et enrobage des armatures
5. Analyse structurale
6. États-limites ultimes (ELU)
7. États-limites de service (ELS)
8. Dispositions constructives relatives aux armatures de béton armé et de précontrainte – Généralités
9. Dispositions constructives relatives aux éléments et règles particulières
10. Règles additionnelles pour les éléments et les structures préfabriqués en béton
11. Structures en béton de granulats légers
12. Structures en béton non armé ou faiblement armé

- Les principaux points
 - 28 pays d'application : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse
 - Transposition en norme NF au plus tard en **juin 2005**
 - Normes nationales en contradiction retirées au plus tard en **mars 2010**

Section 1 : Généralités

- Domaine d'application de l'EC2
 - Bâtiment
 - Génie civil
 - Béton armé, non armé, précontraint
 - Structures entières ou composants
 - Structures de nature traditionnelle ou innovatrice
 - Résistance mécanique, aptitude au service, durabilité, résistance au feu
- Exclusions de l'EC2
 - Formes ou conceptions inhabituelles (pas spécifiquement couvertes)
 - Isolation thermique et acoustique
 - Utilisation d'armatures lisses

Section 1 : Généralités

- Hypothèses :
 - Compétence et expérience des concepteurs et calculateurs
 - Compétence et expérience du personnel d'exécution
 - Surveillance et maîtrise de la qualité adéquates au cours du travail : dans les bureaux d'études, les usines, les entreprises et sur le chantier
 - Utilisation appropriée des matériaux et produits de construction
 - Maintenance adéquate de la structure
 - Utilisation de la structure conforme aux hypothèses admises dans le projet
- Distinction principes / règles d'application
- Définitions et symboles en complément de l'EN1990

Section 2 : Bases de calcul

- Calcul aux états-limites avec la méthode des coefficients partiels
 - Combinaisons : EN1990
 - Actions : EN1991, EN1997, et projet individuel
 - Coefficients matériaux :

Tableau 2.1N : Coefficients partiels relatifs aux matériaux pour les états-limites ultimes

Situations de projet	γ_c (béton)	γ_s (acier de béton armé)	γ_{sc} (acier de précontrainte)
Durable	1,5	1,15	1,15
Transitoire			
Accidentelle	1,2	1,0	1,0

Correspondant à une classe de fiabilité RC2, une classe de conséquence CC2

Tableau B.1 Définition des classes de conséquences

Classe de conséquences	Description	Exemples de bâtiments et de travaux de génie civil
CC3	Conséquence élevée en termes de perte de vie humaine, <i>ou</i> conséquences économiques, sociales ou d'environnement très importantes	Tribunes, bâtiments publics où les conséquences de la défaillance seraient élevées (par exemple salle de concert)
CC2	Conséquence moyenne en termes de perte de vie humaine, conséquences économiques, sociales ou d'environnement considérables	Bâtiments résidentiels et de bureaux, bâtiments publics où les conséquences de la défaillance seraient moyennes (par exemple bâtiment de bureaux)
CC1	Conséquence faible en termes de perte de vie humaine, <i>et</i> conséquences économiques, sociales ou d'environnement faibles ou négligeables	Bâtiments agricoles normalement inhabités (par exemple, bâtiments de stockage, serres)

Annexe A : possibilité de modifier ces coefficients partiels (notamment préfa)

Section 2 : bases de calcul

- Spécification d'une durée d'utilisation de projet (au CCTP)
=> conséquence sur les enrobages

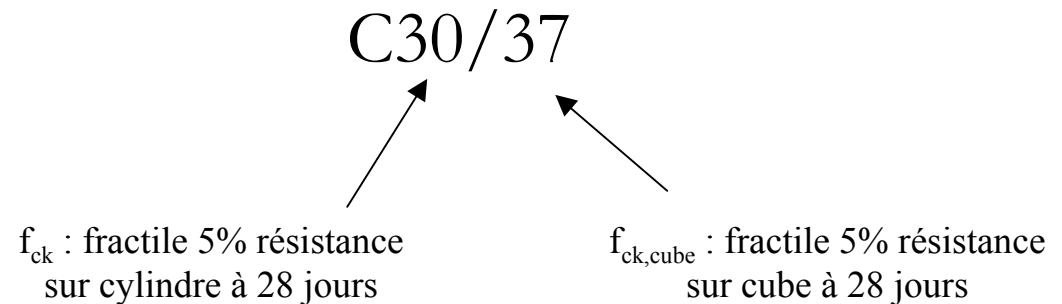
Tableau 2.1 Durée indicative d'utilisation de projet

Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée indicative d'utilisation de projet (années)	Exemples
1	10	Structures provisoires ^{a)}
2	10 à 25	Éléments structuraux remplaçables, par exemple poutres de roulement, appareils d'appui
3	15 à 30	Structures agricoles et similaires
4	50	Structures de bâtiments et autres structures courantes
5	100	Structures monumentales de bâtiments, ponts, et autres ouvrages de génie civil

a) Les structures ou parties de structures qui peuvent être démontées dans un but de réutilisation ne doivent normalement pas être considérées comme provisoires.

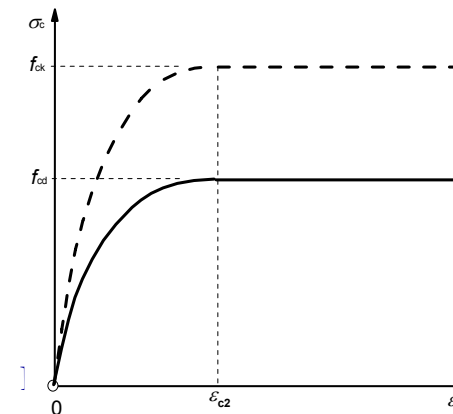
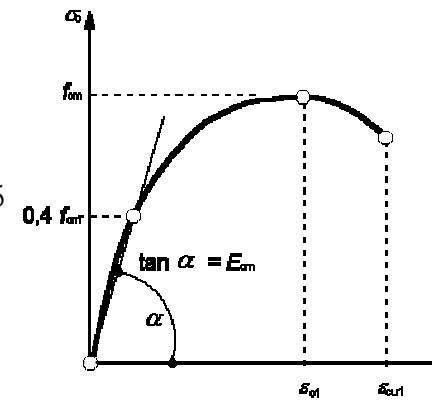
Section 3 : Matériaux

- Annexes associées :
 - B : fluage et retrait du béton
 - C : propriétés des armatures passives compatibles avec l'EC2
 - D : pertes de précontrainte par relaxation
- Béton :
 - Désignation : conforme EN206-1
 - EC2 utilisable de C12/15 à C90/105



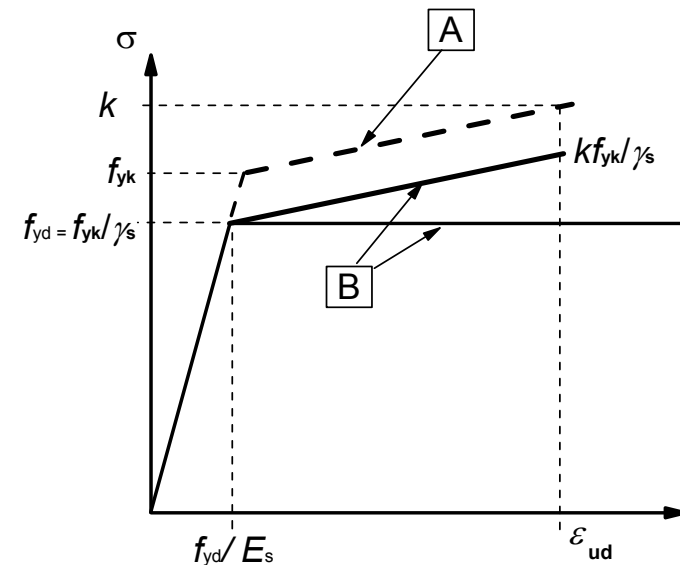
Section 3 : Matériaux

- Béton (suite) :
 - Les paramètres pour le calcul des pptés du béton:
 - Type de ciment : N, R, S
 - Type de granulats (quartzite, calcaires, grès, basalte)
 - Humidité ambiante relative RH
 - Les pptés du béton:
 - Résistance à la traction directe f_{ctm} , $f_{ctk0,05}$ et $f_{ctk0,95}$
 - Module d'élasticité E_{cm}
 - Évolution dans le temps
 - Retrait, fluage (annexe B)
 - Diagrammes contraintes-déformation pour
 - Analyse non-linéaire
 - Calcul sections



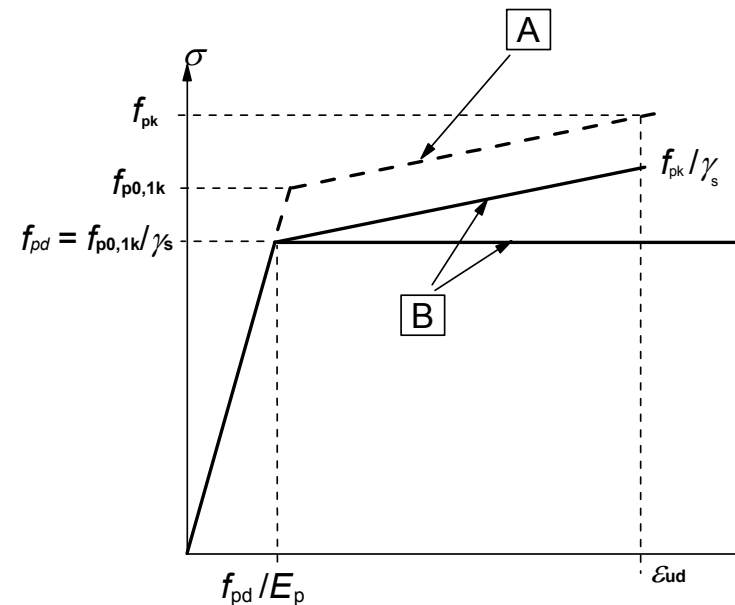
Section 3 : Matériaux

- Aciers de béton armé
 - EN 10080 pas suffisante : annexe C
 - f_{yk} de 400 à 600 MPa ; $E_s = 200$ GPa
 - 3 classes d'aciers (ductilité croissante)
 - Classe A : non autorisée en ouvrages d'art
 - Classe B : classe normale
 - Classe C : forte ductilité (sismique)
 - Diagrammes $\sigma - \epsilon$



Section 3 : Matériaux

- Aciers de précontrainte
 - Propriétés définies dans les Agréments Techniques Européens (ATE) ou EN 10138
 - f_{pk} de 400 à 600 MPa
 - 3 classes de relaxation (idem BPEL)
 - Classe 1 : torons relaxation normale
 - Classe 2 : torons basse relaxation
 - Classe 3 : barres
 - Diagrammes $\sigma - \epsilon$



Section 4 : Durabilité et enrobage des armatures

- Définition des conditions d'environnement au CCTP
=> Tableau EN206-1

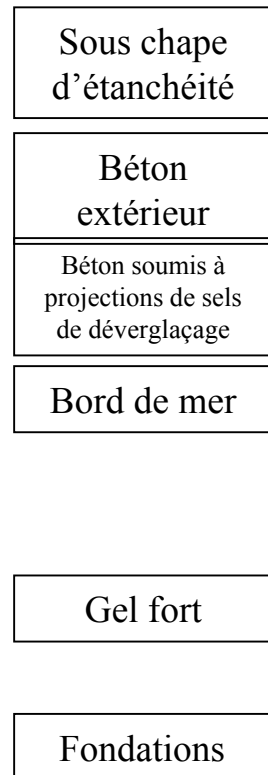
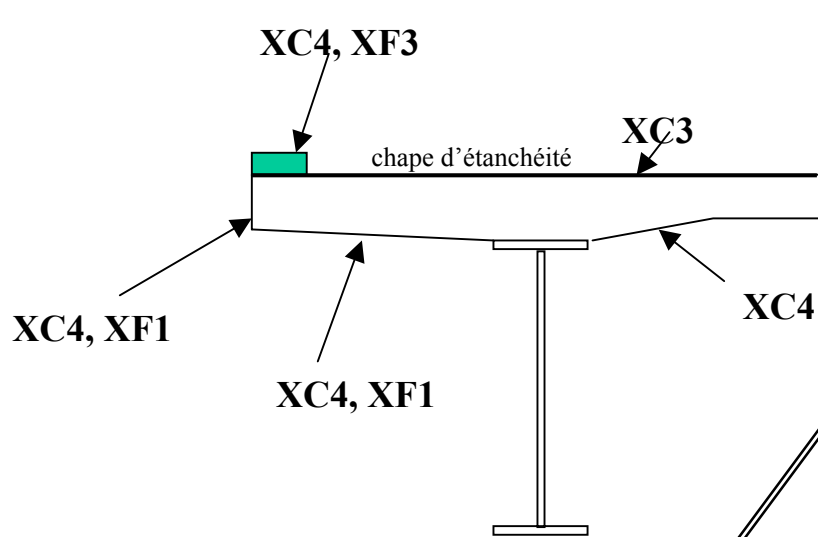


Tableau 4.1 : Classes d'exposition en fonction des conditions d'environnement, conformément à l'EN 206-1

Désignation de la classe	Description de l'environnement :	Exemples informatifs illustrant le choix des classes d'exposition
1 Aucun risque de corrosion ni d'attaque		
X0	Béton non armé et sans pièces métalliques noyées : toutes expositions sauf en cas de gel/dégel, d'abrasion et d'attaque chimique Béton armé ou avec des pièces métalliques noyées : très sec	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est très faible
2 Corrosion induite par carbonatation		
XC1	Sec ou humide en permanence	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est faible Béton immergé en permanence dans de l'eau
XC2	Humide, rarement sec	Surfaces de béton soumises au contact à long terme de l'eau Un grand nombre de fondations
XC3	Humidité modérée	Béton à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est moyen ou élevé Béton extérieur abrité de la pluie
XC4	Alternativement humide et sec	Surfaces de béton soumises au contact de l'eau, mais n'entrant pas dans la classe d'exposition XC2
3 Corrosion induite par les chlorures		
XD1	Humidité modérée	Surfaces de béton exposées à des chlorures transportés par l'air
XD2	Humide, rarement sec	Piscines Éléments en béton exposés à des eaux industrielles contenant des chlorures
XD3	Alternativement humide et sec	Éléments de ponts exposés à des projections contenant des chlorures Chaussées Dalles de parcs de stationnement de véhicules
4 Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer		
XS1	Exposé à l'air véhiculant du sel marin mais pas en contact direct avec l'eau de mer	Structures sur ou à proximité d'une côte
XS2	Immergé en permanence	Éléments de structures marines
XS3	Zones de marnage, zones soumises à des projections ou à des embruns	Éléments de structures marines
5. Attaque gel/dégel		
XF1	Saturation modérée en eau, sans agent de déverglaçage	Surfaces verticales de béton exposées à la pluie et au gel
XF2	Saturation modérée en eau, avec agents de déverglaçage	Surfaces verticales de béton des ouvrages routiers exposés au gel et à l'air véhiculant des agents de déverglaçage
XF3	Forte saturation en eau, sans agents de déverglaçage	Surfaces horizontales de béton exposées à la pluie et au gel
XF4	Forte saturation en eau, avec agents de déverglaçage ou eau de mer	Routes et tabliers de pont exposés aux agents de déverglaçage Surfaces de béton verticales directement exposées aux projections d'agents de déverglaçage et au gel Zones des structures marines soumises aux projections et exposées au gel
6. Attaques chimiques		
XA1	Environnement à faible agressivité chimique selon l'EN 206-1, Tableau 2	Soils naturels et eau dans le sol
XA2	Environnement d'agressivité chimique modérée selon l'EN 206-1, Tableau 2	Soils naturels et eau dans le sol
XA3	Environnement à forte agressivité chimique selon l'EN 206-1, Tableau 2	Soils naturels et eau dans le sol

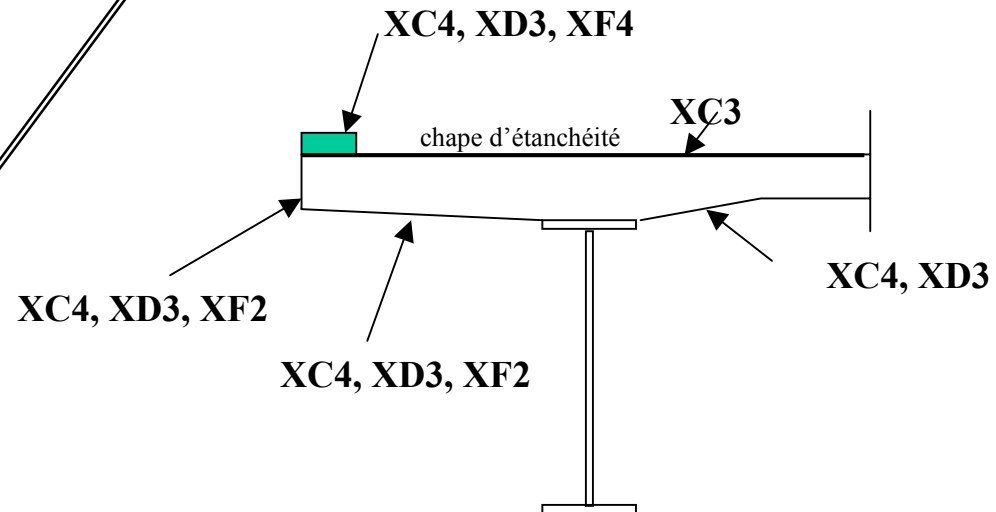
Section 4 : Durabilité et enrobage des armatures

- Exemples d'applications



Tablier en zone de gel faible

Tablier en zone de gel fort, au-dessus d'une route



Section 4 : Durabilité et enrobage des armatures

- Conséquences :
 - Formulation du béton : NF EN 206-1
 - Choix résistance minimale : indications en annexe E
 - Choix des enrobages (à préciser au CCTP)
 - Détermination d'une classe structurale (référence : S4)
 - Détermination de l'enrobage

Classe structurale							
Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Durée d'utilisation de projet de 100 ans	majoration de 2 classes	majoration de 2 classes	majoration de 2 classes	majoration de 2 classes	majoration de 2 classes	majoration de 2 classes	majoration de 2 classes
Classe de résistance ^{1) 2)}	≥ C30/37 minoration de 1 classe	≥ C30/37 minoration de 1 classe	≥ C35/45 minoration de 1 classe	≥ C40/50 minoration de 1 classe	≥ C40/50 minoration de 1 classe	≥ C40/50 minoration de 1 classe	≥ C45/55 minoration de 1 classe
Élément assimilable à une dalle (position des armatures non affectée par le processus de construction)	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe
Maîtrise particulière de la qualité de production du béton	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe	minoration de 1 classe

Section 4 : Durabilité et enrobage des armatures

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

- Ajout d'un terme lié à la tolérance de pose

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta c$$

valeur de calcul et des plans : tolérance à ajouter

$$0 \leq \Delta c \leq 10\text{mm}$$

- Détermination à faire « par paroi »
- Réductions supplémentaires possibles (aciers galva ou inox, à préciser au CCTP)

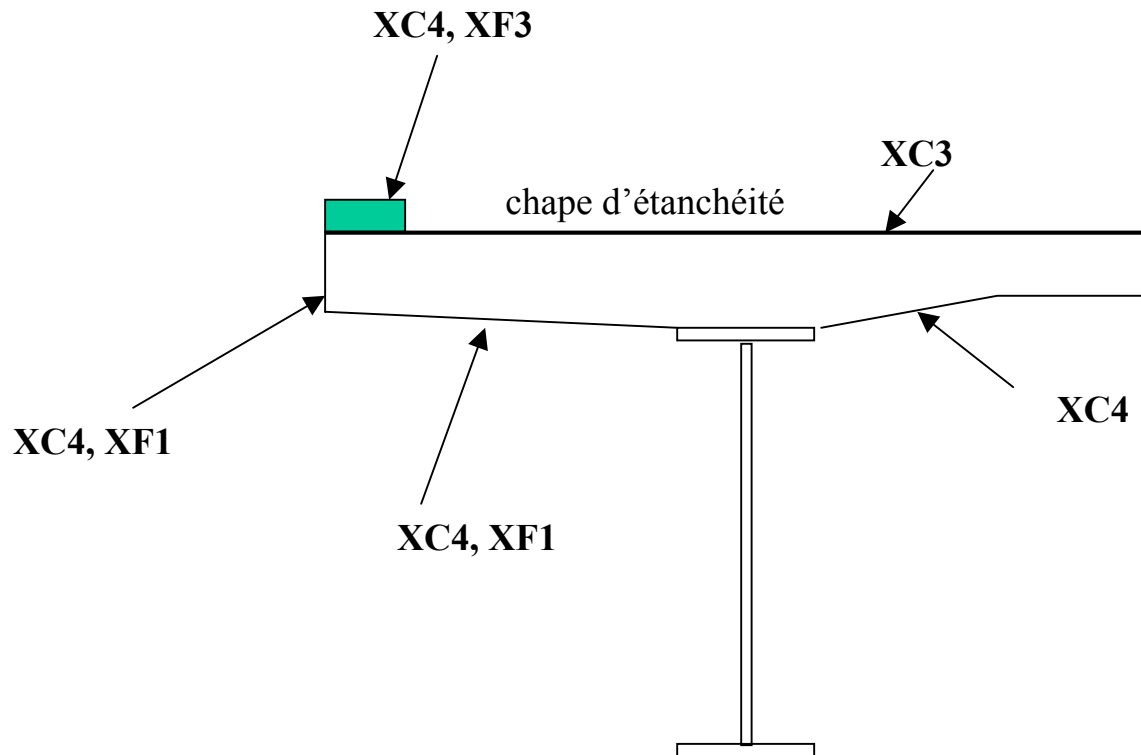
Section 4 : Durabilité et enrobage des armatures

- Et toujours : enrobage minimum d'adhérence

Exigences pour la bonne transmission des forces d'adhérence	
Type d'armatures	Enrobage minimum $c_{\min}$
Armature B.A. isolée	Diamètre de la barre
Armature B.A. en paquets	Diamètre équivalent
Armature de post-tension	Armature adhérente avec gaine circulaire: diamètre de la gaine Armature adhérente avec gaine plate: minimum de [la petite dimension, $\frac{1}{2}$ de la grande dimension] Limite plafonnée à 80 mm
Armature de pré-tension	1,5 x diamètre du toron ou du fil lisse 2,5 x diamètre du fil nervuré

Exemple : enrobage des armatures sur un pont mixte

- Tablier en zone de gel faible



Conditions d'environnement – Exemple 1

- Résistance mini du béton de structure :
Annexe E de l'Eurocode

Tableau E.1N : Classes indicatives de résistance

	Classes d'exposition selon le Tableau 4.1									
Corrosion										
	Corrosion induite par carbonatation				Corrosion induite par les chlorures			Corrosion induite par les chlorures de l'eau de mer		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Classe indicative de résistance	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Dommages au béton										
	Aucun risque	Attaque par gel et dégel				Attaque chimique				
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3			
Classe indicative de résistance	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37			C35/45		

Conditions d'environnement – Exemple 1

- Résistance mini du béton : EN 206-1 et NF EN206-1

Tableau F.1 — Valeurs limites spécifiées applicables à la composition et aux propriétés du béton

	Classes d'exposition																	
	Aucun risque de corrosion ou d'attaque	Carbonatation				Corrosion induite par les chlorures						Attaque gel/dégel				Environnements contenant des substances chimiques agressives		
						Eau de mer			Chlorures autres que l'eau de mer									
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2
Rapport eau/ciment maximal	—	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe de résistance minimale	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Teneur minimale en ciment (kg/m ³)	—	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360

Tableau NA.F.1 — Valeurs limites applicables en France pour la composition et les propriétés du béton en fonction de la classe d'exposition

	Classes d'exposition																	
	Aucun risque de corrosion ou d'attaque	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									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3 ^{a) c)}	XF1 ^{b)}	XF2 ^{b)}	XF3 ^{b) c)}	XF4 ^{b) c)}	XA1	XA2	XA3
Rapport E_{cm}/f_{ctm} liant éq maximal ^{d)}	—	0,65					0,55	0,50		0,55	0,50	0,60	0,55	0,55	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe de résistance minimale	—	C20/25					C30/37	C35/45		C30/37	C35/45	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C40/50
Teneur mini en liant éq (kg/m ³) ^{d) e)}	150	260 ^{h)}					330	350		330	350	280 ^{h)}	300	315	340	330	350	385

NF EN 206-1

Conditions d'environnement – Exemple 1

- Résistance mini du béton : bilan :
Annexe E de l'Eurocode $\Rightarrow$ C30/37
Norme EN206-1 européenne $\Rightarrow$ C30/37
Norme NF EN206-1, annexe nationale $\Rightarrow$ C30/37

A terme, cohérence globale.

Choix possibles : C30/37 ou C35/45 (résistance, diminution enrobages)

Conditions d'environnement – Exemple 1

- Paroi supérieure :
 - Classe structurale
 $4 + 2 - 1 = 5$
 (S4 si C35/45 CEM I)
- Paroi inférieure :
 - Classe structurale
 $4 + 2 - 1 = 5$
 (S4 si C35/45)

Projet annexe nationale

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 4.5N

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1 ¹⁾						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1 / XA1 ⁴⁾	XD2 / XS2 / XA2 ⁴⁾	XD3 / XS3 / XA3 ⁴⁾
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 ²⁾	$\geq C30/37$: minoration de 1	$\geq C30/37$: minoration de 1	$\geq C30/37$: minoration de 1	$\geq C35/45$: minoration de 1	$\geq C40/50$: minoration de 1	$\geq C40/50$: minoration de 1	$\geq C45/55$: minoration de 1
	$\geq C50/60$: minoration de 2	$\geq C50/60$: minoration de 2	$\geq C55/67$: minoration de 2	$\geq C60/75$: minoration de 2	$\geq C60/75$: minoration de 2	$\geq C60/75$: minoration de 2	$\geq C70/85$: minoration de 2
Nature du liant		Béton de classe $\geq C35/45$ à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe $\geq C35/45$ à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe $\geq C40/50$ à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1			
Enrobage compact ³⁾	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

Conditions d'environnement – Exemple 1

- Paroi supérieure :

- Calcul $c_{\min, \text{dur}}$

$$c_{\min, \text{dur}} = 30 \text{ mm}$$

- Enrobage minimal :

$$c_{\min} = \max(\phi; 30; 10) = 30 \text{ mm}$$

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

$$c_{\min} = \max \{ \underset{\phi \nearrow}{c_{\min, b}}, \underset{0 \nearrow}{c_{\min, \text{dur}} + \Delta c_{\text{dur}, \gamma}}, \underset{0 \nearrow}{- \Delta c_{\text{dur}, \text{st}}}, \underset{0 \nearrow}{- \Delta c_{\text{dur}, \text{add}}}, 10 \text{ mm} \}$$

- Enrobage nominal (figurant sur les plans)

$$5 \leq \Delta c_{\text{dev}} \leq 10 \text{ mm (assurance qualité avec mesure enrobages)}$$

$$c_{\text{nom}} = 35 \text{ mm}$$

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}}$$

Possibilité de descendre à 30mm avec un C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes

Conditions d'environnement – Exemple 1

- Paroi inférieure :

- Calcul $c_{\min, \text{dur}}$

$$c_{\min, \text{dur}} = 35 \text{ mm}$$

- Enrobage minimal :

$$c_{\min} = \max(\phi; 35; 10) = 35 \text{ mm} \quad c_{\min} = \max \{ c_{\min, b}; c_{\min, \text{dur}} + \Delta c_{\text{dur}, \gamma} - \Delta c_{\text{dur}, \text{st}} - \Delta c_{\text{dur}, \text{add}}; 10 \text{ mm} \}$$

ϕ 0 0 0

- Enrobage nominal (figurant sur les plans)

$$5 \leq \Delta c_{\text{dev}} \leq 10 \text{ mm} \text{ (assurance qualité avec mesure enrobages)}$$

$$c_{\text{nom}} = 40 \text{ mm}$$

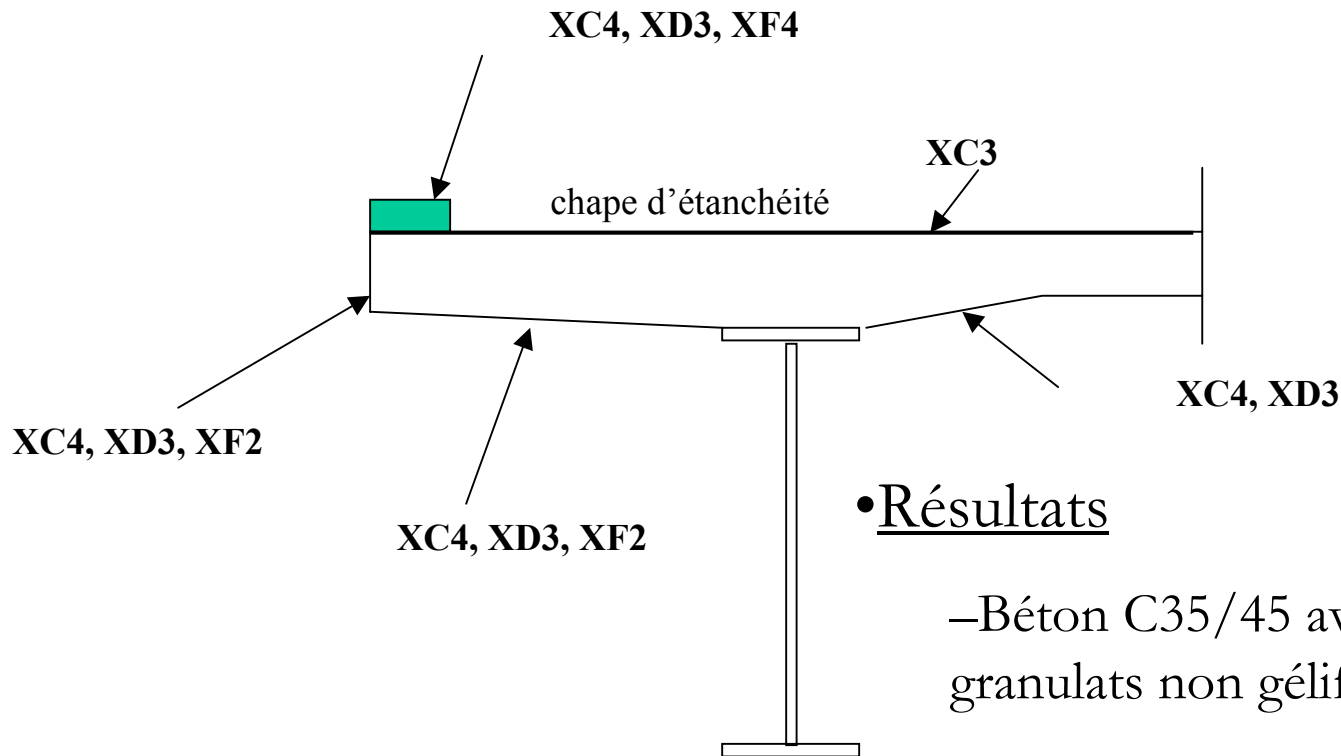
$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}}$$

Possibilité de descendre à 35mm avec un C35/45

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

Enrobage des armatures – Exemple 2

- Tablier en zone de gel fort, au-dessus d'une route



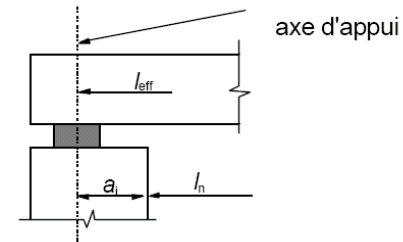
• Résultats

- Béton C35/45 avec entraîneur d'air, granulats non gélifs
- Enrobage hourdis sup : 30mm
- Enrobage hourdis inf : 55mm (50mm pour un C45/55)



Section 5 : Analyse structurale

- Annexes associées :
 - G : interaction sol-structure
 - H : effets du second ordre
- Définition des imperfections géométriques
- Modélisation de la structure :
 - Poutres : $l > 3h$
 - Dalles : $\min(l_x, l_y) > 5e$
 - Définition portées
 - Largeurs participantes



(d) Présence d'un appareil d'appui

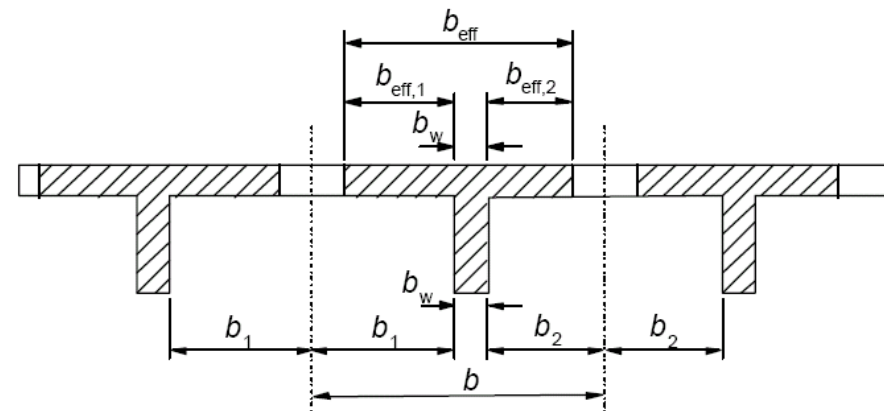


Figure 5.3: Paramètres déterminant la largeur participante

Section 5 : Analyse structurale

- Analyses autorisées :
 - Analyse élastique linéaire : ELS, ELU
 - Analyse élastique linéaire avec redistribution limitée des moments : ELU
 - Analyse plastique : ELU (exemple : bielles-tirants)
 - Analyse non-linéaire : ELS, ELU
 - Premier ordre
 - Second ordre
 - Méthodes simplifiées pour les calculs de poteaux

Section 5 : Analyse structurale

- Analyse des éléments précontraints
 - Définition des forces de mise en tension : $0,8 f_{pk}$
 - Mesures en cours de tension : force, allongement, contrôle des pertes réelles
 - Méthodes de calcul des pertes

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta \sigma_{p,c+s+r} = A_p \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0,8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} (1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2) [1 + 0,8 \varphi(t, t_0)]}$$
 - Coefficients de frottement : ATE, ou à défaut :

Tableau 5.1 : Coefficients de frottement μ pour les armatures de précontrainte par post-tension – armatures intérieures et armatures extérieures non-adhérentes

	Armatures intérieures ¹⁾	Armatures extérieures (non-adhérentes)			
		Gaine en acier / non graissé	Gaine en PEHD / non graissé	Gaine en acier / graissé	Gaine en PEHD / graissé
Fil tréfilé à froid	0,17	0,25	0,14	0,18	0,12
Toron	0,19	0,24	0,12	0,16	0,10
Barre non lisse	0,65	-	-	-	-
Barre lisse	0,33	-	-	-	-

¹⁾ dans le cas d'armatures remplissant environ la moitié de la gaine

Section 5 : Analyse structurale

- Analyse des éléments précontraints (suite)

- Définition des fourchettes à l'ELS

$$P_{k,\text{sup}} = r_{\text{sup}} P_{m,t}(x)$$

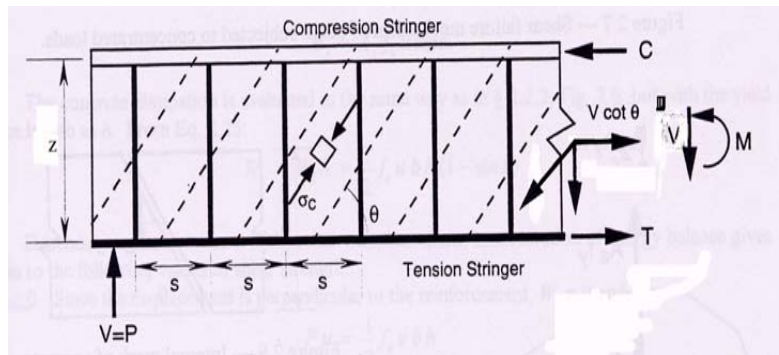
$$P_{k,\text{inf}} = r_{\text{inf}} P_{m,t}(x)$$

- pour la précontrainte par pré-tension et pour les armatures non adhérentes : $r_{\text{sup}} = 1,05$ et $r_{\text{inf}} = 0,95$
 - pour la précontrainte par post-tension avec armatures adhérentes : $r_{\text{sup}} = 1,10$ et $r_{\text{inf}} = 0,90$
 - lorsque des mesures appropriées sont prises (mesure directe de la précontrainte pré-tendue, par exemple) : $r_{\text{sup}} = r_{\text{inf}} = 1,0$.

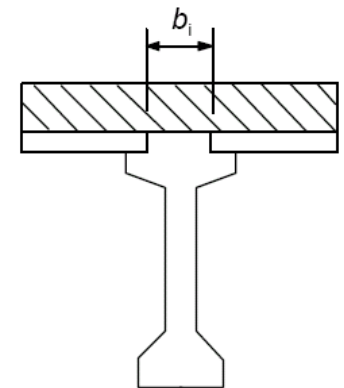
- Pas de calcul simplifié en P_m (coefficients k et k' du BPEL)

Section 6 : États-limites ultimes (ELU)

- Flexion : proche du BAEL/BPEL ; pivots B/C
- Tranchant : changements importants :
 - Résistance du béton sans aciers d'effort tranchant
 - Bielle d'inclinaison variable

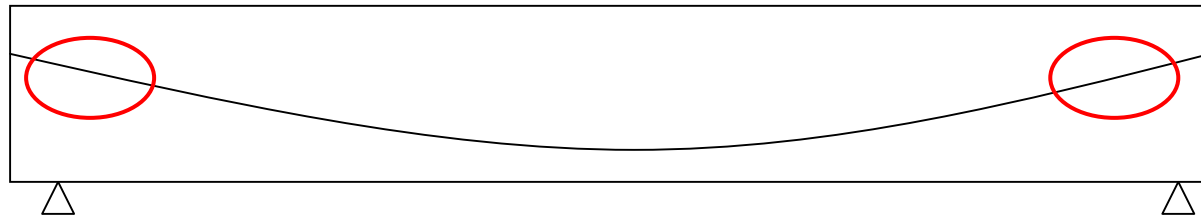


- Aciers traversant les surface de reprise
 - Définir la nature de l'interface :
très lisse, lisse, rugueuse, avec indentations



Section 6 : États-limites ultimes (ELU)

- Poinçonnement : peu de changements
- Fatigue : beaucoup de développements
 - Fatigue des aciers passifs et de précontrainte
 - Fatigue du béton
 - Cas d'exclusion à préciser en annexe nationale
- Nouveauté : « rupture fragile »
 - But : se prémunir d'une rupture par corrosion des câbles sans manifestation extérieure annonciatrice de la ruine



- Conditions d'application à préciser

Section 7 : États-limite de service (ELS)

- Chapitre très « discuté »
- Disparition des notions de :
 - Fissuration non / - / très préjudiciable (BAEL)
 - Classes I, II, III (BPEL)
- Formulation unifiée en terme d'ouvertures de fissures
- Attention !!! Ouverture de fissure « conventionnelle de calcul » à ne pas recouper avec les fissures mesurées sur chantier...
- Pas de limitation du cisaillement en service

Section 7 : États-limite de service (ELS)

- Pour le maître d'œuvre : fixer les ouvertures de fissures admissibles, avec le minimum suivant :

Tableau 7.1N : Valeurs recommandées de $w_{\max}$ (mm)

Classe d'exposition	Éléments en béton armé et éléments en béton précontraint à armatures non adhérentes	Éléments en béton précontraint à armatures adhérentes
	Combinaison quasi-permanente des charges	Combinaison fréquente des charges
X0, XC1	0,4 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Décompression

Section 7 : États-limite de service (ELS)

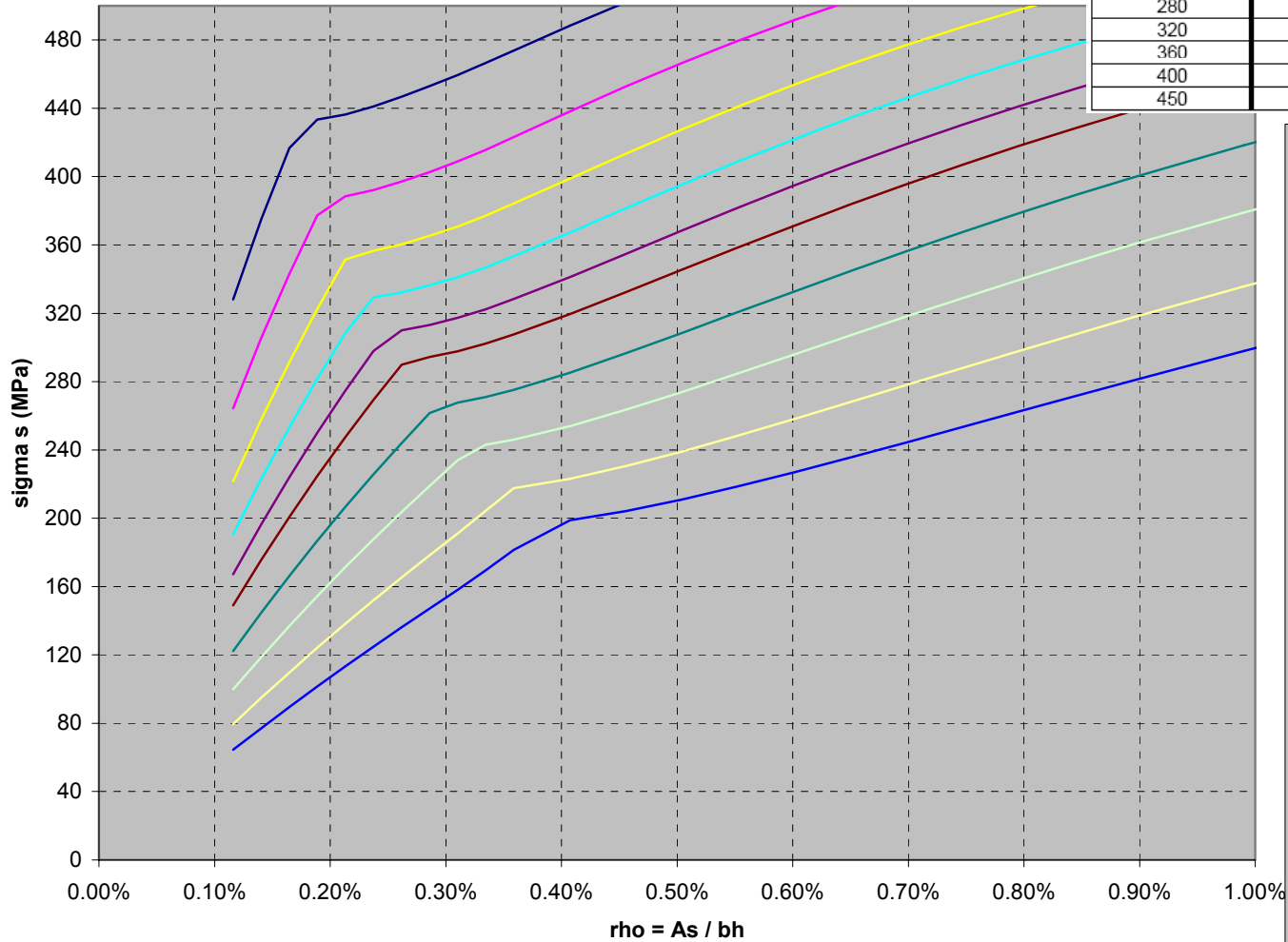
- BAEL - BPEL :
 - limitation de σ_s , $\Delta\sigma_p$ et tractions dans le béton
 - dispositions constructives
- Eurocode 2 :
 - limitation fonction de beaucoup de paramètres : ϕ , ρ , $c \dots$

Tableau 7.2N Diamètre maximal ϕ_s^* des barres pour la maîtrise de la fissuration ¹

Contrainte de l'acier ² [MPa]	Diamètre maximal des barres [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Section 7 : Exemple d'abaque

Contrainte admissible en fonction du taux de ferrailage et du diamètre



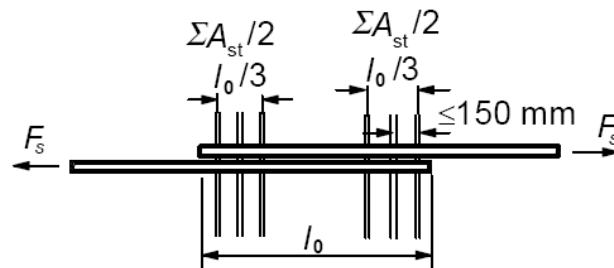
Contrainte de l'acier f_{yk} [MPa]	Diamètre maximal des barres [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

$d=0.9h$ $n=15$ $kt=0.4$ $f_{ct,eff}=2.9\text{MPa}$
 $c=25\text{mm}$ $w_k=0.3\text{mm}$

- $\phi=6\text{mm}$
- $\phi=8\text{mm}$
- $\phi=10\text{mm}$
- $\phi=12\text{mm}$
- $\phi=14\text{mm}$
- $\phi=16\text{mm}$
- $\phi=20\text{mm}$
- $\phi=25\text{mm}$
- $\phi=32\text{mm}$
- $\phi=40\text{mm}$

Section 8 : Dispositions constructives

- Espacement des armatures
- Diamètres de cintrage des barres
- Longueur d'ancrage des barres
 - Calcul plus fin en fonction des conditions environnantes
- Recouvrements et coupleurs
- Règles pour les barres de gros diamètres
- Règles pour les paquets de barres ($n > 2$)
- Règles pour la précontrainte (distances entre barres)



a) barres tendues

EN1992-2 : les principales spécificités

- Section 5 : Méthodes d'analyse non-linéaire
- Section 6 : Rupture fragile, torsion des caissons, fatigue
- Section 113 : Calcul des phases d'exécution
⇒ Contient une partie d'actions (exemple : valeur de vent pour les stabilités de fléaux) + règles de vérification
- Annexe B : retrait – fluage des BHP (règles AFREM)
- Annexes LL et MM : calcul des plaques fléchies et cisailées, règles de cumul
- Annexes QQ : Effort tranchant ELS

Conclusion

- Textes proches de BAEL/BPEL (même source)
- Les principales différences :
 - Notations
 - ELS moins dimensionnant
 - Aspects matériaux/durabilité plus présents
 - Fatigue, rupture fragile
- Les supports :
 - Guide d'application de l'Eurocode 2 aux ponts (document Sétra en cours, publication prévue fin 2006)
 - Formations Sétra au RST (2004)
 - Colloques Eurocodes en région : 2005/2006