

Aide-mémoire des  
**OUVRAGES**  
**EN BÉTON ARMÉ**

Tout le catalogue sur  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)



**Pierre Guillemont**

Aide-mémoire des  
**OUVRAGES  
EN BÉTON ARMÉ**

**4<sup>e</sup> édition**

EDITIONS

**LE MONITEUR**

DUNOD

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 1997, 2006, 2009, 2013  
978-2-10-058537-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

Avant-propos	1
<b>1 ■ Présentation</b>	<b>3</b>
1.1 Les Eurocodes	3
1.2 L'Eurocode 0 – Bases des calculs de structure	6
1.3 L'Eurocode 1 – Actions	13
1.4 L'Eurocode 2 – Structures en béton	14
1.5 Notations utilisées dans les Eurocodes	14

## A

### Règles générales

<b>2 ■ Matériaux</b>	<b>21</b>
2.1 Béton	21
2.2 Aciers de béton armé	32
2.3 Association acier-béton	33
2.4 Durabilité et dispositions constructives	45
<b>3 ■ Actions</b>	<b>55</b>
3.1 Actions permanentes	55
3.2 Actions variables	58
3.3 Actions accidentelles	63

## **4 ■ Sollicitations 65**

- 4.1 Analyse structurale 65
- 4.2 Modélisation 66

## **5 ■ États limites ultimes 77**

- 5.1 Flexion simple et composée 77
- 5.2 Effort tranchant 91
- 5.3 Liaison entre les membrures d'une poutre et l'âme 106
- 5.4 Torsion 107
- 5.5 Poinçonnement 121
- 5.6 Modèles bielles et tirants 128
- 5.7 Pressions localisées 138

## **6 ■ États limites de service 141**

- 6.1 Généralités 141
- 6.2 Limitation des contraintes 141
- 6.3 Maîtrise de la fissuration 143
- 6.4 État limite de déformation 157

# **B**

## **Règles applicables aux éléments courants**

## **7 ■ Poteaux et voiles 169**

- 7.1 Effets du second ordre 169
- 7.2 Méthodes d'analyse 172
- 7.3 Poteaux 178
- 7.4 Voiles 192
- 7.5 Dispositions constructives des murs 196

<b>8 ■ Poutres</b>	<b>203</b>
8.1 Sollicitations	203
8.2 Armatures longitudinales	217
8.3 Armatures transversales	225
<b>9 ■ Dalles</b>	<b>229</b>
9.1 Définitions	229
9.2 Sollicitations	230
9.3 Armatures de flexion	231
9.4 Dispositions sur les appuis	233
9.5 Armatures d'effort tranchant	233
9.6 Armatures de chaînage	239
9.7 Éléments saillants	242

## C

### Règles particulières

<b>10 ■ Planchers-dalles</b>	<b>245</b>
10.1 Analyse des planchers-dalles	245
10.2 Dispositions constructives	246
<b>11 ■ Comportement au feu</b>	<b>251</b>
11.1 Généralités	251
11.2 Valeurs tabulées	253
11.3 Méthodes simplifiées	260
11.4 Effort tranchant, torsion et ancrage des armatures	272
11.5 Éclatement	274
11.6 Jonctions	276
11.7 Revêtements de protection	276

<b>12 ■ Fondations superficielles</b>	<b>277</b>
12.1 Domaine d'application	277
12.2 Modèle de comportement	281
12.3 Justifications vis-à-vis du sol de fondation	286
12.4 Justifications vis-à-vis des matériaux	290
12.5 Dispositions constructives	304
<b>13 ■ Fondations profondes</b>	<b>307</b>
13.1 Domaine d'application	307
13.2 Modèle de comportement	307
13.3 Justifications vis-à-vis du sol	318
13.4 Justifications vis-à-vis des matériaux	319
<b>14 ■ Murs de soutènement</b>	<b>339</b>
14.1 Généralités	339
14.2 Actions	339
14.3 Justifications	345
<b>Bibliographie</b>	<b>353</b>
<b>Index</b>	<b>355</b>

# Avant-propos

La rédaction du présent Aide-mémoire a été conduite avec l'idée constante que l'ingénieur de bureau d'études doit trouver rapidement dans cet ouvrage la réponse à la question qu'il se pose pour la justification d'un élément ou d'un ouvrage de béton armé qu'il peut rencontrer dans le cadre d'un projet de bâtiment.

Cette 4<sup>e</sup> édition est conforme aux Eurocodes. Elle traite aussi bien des règles générales (partie A) que des règles applicables aux éléments courants que sont les poteaux et voiles, les poutres et les dalles (partie B).

Elle traite également des règles particulières relatives aux planchers-dalles, au calcul du comportement au feu et des fondations superficielles ou profondes, ainsi que les murs de soutènement (partie C).

Il peut être utile de préciser qu'il ne s'agit pas dans cet Aide-mémoire de procéder à une analyse exhaustive de la réglementation, mais d'en présenter les prescriptions pour une utilisation pratique, volontairement limitée aux cas les plus courants.

C'est ainsi par exemple que ne sont pas traités la question de la fatigue, les structures préfabriquées, les structures en béton de granulats légers ou les structures en béton non armé ou faiblement armé. Les bétons de classe de résistance supérieure à 50 MPa ne sont pas pris en compte.

Cet ouvrage prend également en compte les *Recommandations professionnelles pour l'application de la norme NF EN 1992-1-1 et de son annexe nationale relatives au calcul des structures en béton*.

**Les références entre crochets renvoient au numéro de l'article correspondant de l'Eurocode 2.**



# 1

## Présentation

### 1.1 Les Eurocodes

#### 1.1.1 La réglementation

Parallèlement à l'évolution technique, la codification et la réglementation dans le domaine de la construction se sont développées, en intégrant les acquisitions faites quant à la connaissance du comportement des matériaux et les enseignements tirés de l'expérience.

Pour ce qui concerne les règles de conception des ouvrages en béton armé, les premières théories donnent lieu en France aux circulaires de 1906 et 1934.

La première génération de réglementation est dite « aux contraintes admissibles ». Il s'agit des Règles BA 45 et BA 60, CCBA 68.

La génération en vigueur en France est dite « aux états limites ». Il s'agit des **Règles BAEL** 83, 91 et 99. Les **Règles BAEL** font partie d'une réglementation nationale dont l'ensemble couvre l'essentiel du domaine de la construction.

Les Eurocodes sont des codes de conception-calcul des ouvrages de structure établis au plan européen et destinés à se substituer progressivement aux normes nationales correspondantes dans chacun des États membres.

#### 1.1.2 Les Eurocodes

Dans le domaine des règles de conception-calcul, il s'agit de dix textes codificatifs formant un ensemble cohérent se déclinant comme suit :

- ▶ EN 1990 – Bases de calcul des structures.
- ▶ EN 1991 – Actions sur les structures.
- ▶ EN 1992 – Calcul des structures en béton.
- ▶ EN 1993 – Calcul des structures en acier.
- ▶ EN 1994 – Calcul des structures mixtes acier-béton.
- ▶ EN 1995 – Calcul des structures en bois.
- ▶ EN 1996 – Calcul des structures en maçonnerie.
- ▶ EN 1997 – Calcul géotechnique.
- ▶ EN 1998 – Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes.
- ▶ EN 1999 – Calcul des structures en alliage d'aluminium.

Indice EN	Titre EN
<b>EN 1991</b>	<b>Actions sur les structures</b>
1991-1-1	Densités, poids propres et charges d'exploitation
1991-1-2	Actions sur les structures exposées au feu
1991-1-3	Charges de neige
1991-1-4	Actions du vent
1991-1-5	Actions thermiques
1991-1-6	Charges et déformations imposées pendant l'exécution
1991-1-7	Actions accidentelles
1991-2	Charges sur les ponts dues au trafic
1991-3	Actions induites par les ponts roulants, les grues et la machinerie
1991-4	Actions dans les silos et réservoirs
<b>EN 1992</b>	<b>Calcul des structures en béton</b>
1992-1-1	Règles communes pour les structures de bâtiment et de génie civil
1992-1-2	Calcul de la résistance au feu
1992-2	Ponts
1992-3	Structures de soutènement et réservoirs
<b>EN 1993</b>	<b>Calcul des structures en acier</b>
1993-1-1	Généralités – Règles communes
1993-1-2	Résistance au feu
1993-1-3	Généralités – Profilés et plaques à parois minces formés à froid
1993-1-4	Généralités – Structures en acier inoxydable

1993-1-5	Généralités – Résistance des plaques planes raidies chargées dans leur plan
1993-1-6	Généralités – Résistance et stabilité des structures en coques
1993-1-7	Généralités – Résistance des plaques planes raidies chargées hors de leur plan
1993-1-8	Calcul des assemblages
1993-1-9	Résistance à la fatigue
1993-1-10	Évaluation de résistance à la rupture fragile
1993-1-11	Utilisation des câbles à haute résistance
1993-2	Ponts
1993-3	Bâtiments
1993-4-1	Silos
1993-4-2	Réservoirs
1993-4-3	Pipelines
1993-5	Pieux
1993-6	Structures de chemins de roulement
1993-7-1	Pylônes et mâts haubanés
1993-7-2	Cheminées
<b>EN 1994</b>	<b>Calcul des structures mixtes acier-béton</b>
1994-1-1	Règles communes
1994-1-2	Résistance au feu
1994-2	Ponts
<b>EN 1995</b>	<b>Calcul des structures en bois</b>
1995-1-1	Règles communes applicables aux bâtiments
1995-1-2	Résistance au feu
1995-2	Ponts
<b>EN 1996</b>	<b>Calcul des structures en maçonnerie</b>
1996-1-1	Règles pour maçonneries renforcées ou non
1996-1-2	Calcul de la résistance au feu
1996-1-3	Règles détaillées pour les charges latérales
1996-2	Choix des matériaux et exécution des structures en maçonnerie
1996-3	Méthode de calcul simplifiée pour les structures en maçonnerie
<b>EN 1997</b>	<b>Calcul géotechnique</b>
1997-1	Règles générales
1997-2	Conception assistée par les essais de laboratoire
1997-3	Conception assistée par les essais en place

EN 1998	Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes
1998-1	Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments
1998-2	Ponts
1998-3	Renforcement et réparation des bâtiments
1998-4	Silos, réservoirs et canalisations
1998-5	Fondations, structures de soutènement et aspects géotechniques
1998-6	Tours, mâts et cheminées
EN 1999	Calcul des structures en alliage d'aluminium
1999-1-1	Règles générales et règles applicables aux bâtiments
1999-1-2	Calcul de la résistance au feu
1999-2	Structures susceptibles à la fatigue

## 1.2 L'Eurocode 0 – Bases des calculs de structure

L'Eurocode 0 (EN 1990) traite des bases des calculs de structure.

### 1.2.1 Exigences de base

Le calcul des structures en béton doit être conforme aux règles générales données dans l'EN 1990.

Les exigences de base de l'EN 1990 section 2 sont réputées satisfaites lorsque sont remplies conjointement les conditions ci-après :

- ▶ calcul aux états limites avec la méthode des coefficients partiels et combinaisons d'actions selon l'EN 1990 ;
- ▶ actions conformes à l'EN 1991 ;
- ▶ résistance, durabilité et aptitude au service conformes à l'EN 1992-1-1.

### 1.2.2 Gestion de la fiabilité

La fiabilité requise pour les structures doit être obtenue :

- ▶ par un dimensionnement conforme aux EN 1990 à 1999 ;
- ▶ par des mesures appropriées en matière d'exécution, et de gestion de la qualité.

### 1.2.3 Durée d'utilisation de projet

La durée d'utilisation de projet doit être normalement spécifiée. Elle est fonction de la catégorie de durée d'utilisation de projet (tableau ci-après).

Durée d'utilisation – Valeurs de l'Annexe nationale

Catégorie	Durée d'utilisation	Exemples
1	10 ans	Structures provisoires
2	25 ans	Éléments structuraux remplaçables, par exemple appareils d'appui
3	25 ans	Structures agricoles et similaires
4	50 ans	Structures de bâtiments et autre structures courantes
5	100 ans	Structures monumentales de bâtiments, ponts et autres ouvrages de génie civil

### 1.2.4 Principes du calcul aux états limites

Les états limites sont des états idéalisés qui ne doivent pas être atteints sous peine de ne plus permettre à la construction de satisfaire les exigences du projet.

#### ■ Situations de projet

Le recensement des états limites suppose une analyse des différentes situations que l'on peut raisonnablement s'attendre à rencontrer lors de l'exécution ou de l'utilisation de la construction.

Dans les cas courants, on distingue :

- ▶ les situations durables, qui font référence aux conditions d'utilisation normales ;
- ▶ les situations transitoires, qui font référence à des conditions temporaires, par exemple en cours de construction ou de réparation ;
- ▶ les situations accidentelles, qui font référence à des conditions exceptionnelles comme un incendie, une explosion ou un choc ;
- ▶ les situations sismiques, qui font référence aux conditions rencontrées lors de tremblements de terre.

### ■ États limites ultimes

Les états limites ultimes sont associés à une rupture. Ils concernent la sécurité des personnes et/ou la sécurité de la structure.

L'Eurocode classe les états limites ultimes en EQU, qui correspond à une perte d'équilibre statique, STR, qui correspond à une défaillance d'éléments structuraux, GEO, qui correspond à une défaillance du sol, et FAT, qui correspond à une défaillance due à la fatigue.

### ■ États limites de service

Les états limites de service rendent l'usage incompatible avec les exigences de fonctionnement, de confort pour les usagers ou d'aspect.

Une distinction doit être faite entre les états limites de services réversibles, pour lesquels on considère les combinaisons fréquentes et quasi-permanentes, et les états limites irréversibles pour lesquels on considère les combinaisons caractéristiques.

## 1.2.5 Vérification par la méthode des coefficients partiels

Les règles relatives à la méthode des coefficients partiels, et les formats de combinaisons d'actions pour les états limites ultimes et de service sont donnés dans l'EN 1990 section 6.

On doit vérifier que dans toutes les situations de projet à examiner, aucun état limite n'est dépassé.

## ■ Valeurs de calcul des effets des actions

La valeur de calcul  $F_d$  d'une action  $F$  peut s'exprimer sous forme générale par :

$$F_d = \gamma_f F_{\text{rep}}$$

où  $F_{\text{rep}}$  est la valeur représentative appropriée de l'action, et  $\gamma_f$  un coefficient partiel pour l'action ;  $F_{\text{rep}} = \psi F_k$  ;  $F_k$  est la valeur caractéristique de l'action.

Pour un cas de charge spécifique, la valeur de calcul  $E_d$  de l'effet des actions peut s'exprimer sous forme générale par :

$$E_d = \gamma_{\text{Sd}} E\{\gamma_{f,i} F_{\text{rep},i} ; a_d\}$$

avec  $a_d$  la valeur de calcul des données géométriques, et  $\gamma_{\text{Sd}}$  un coefficient partiel tenant compte des incertitudes dans la modélisation des effets des actions.

Dans la plupart des cas, on peut simplifier en écrivant :

$$E_d = E\{\gamma_{F,i} F_{\text{rep},i} ; a_d\}$$

avec  $\gamma_{F,i} = \gamma_{\text{Sd}} \gamma_{f,i}$

## ■ Valeurs de calcul de la résistance

La valeur de calcul  $X_d$  d'une propriété de matériau peut s'exprimer sous forme générale par :

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}$$

où  $X_k$  est la valeur caractéristique du matériau ;  $\eta$  est un coefficient de conversion qui tient compte des paramètres tels que les effets du volume, de l'humidité ou de la température ;  $\gamma_m$  est un coefficient partiel pour la propriété du matériau.

La valeur de calcul  $R_d$  de la résistance peut s'exprimer sous forme générale par :

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_{d,i}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d\right\}$$

avec  $\gamma_{Rd}$  un coefficient partiel qui couvre l'incertitude du modèle de résistance.

Dans la plupart des cas, on peut simplifier en écrivant :

$$R_d = R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d\right\}$$

avec  $\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \gamma_{m,i}$

### ■ Coefficients partiels $\gamma_M$ sur les matériaux

Le coefficient partiel sur le béton  $\gamma_c$  et le coefficient de sécurité partiel sur l'acier  $\gamma_s$  ont les valeurs suivantes :

	$\gamma_c$	$\gamma_s$
Pour les combinaisons fondamentales	1,5	1,15
Pour les combinaisons accidentelles, à l'exception du séisme	1,2	1,0
Pour les états limites de service	1,0	1,0

### ■ Coefficients partiels réduits $\gamma_M$ sur les matériaux

L'Annexe A, informative, donne des recommandations pour des coefficients partiels réduits relatifs aux matériaux.

#### □ Réduction basée sur des tolérances réduites

Si l'exécution est soumise à un système de contrôle de la qualité qui garantit que les écarts défavorables des dimensions de la section droite sont inférieurs aux tolérances réduites données dans le tableau ci-dessous, le coefficient partiel pour les armatures peut être réduit à la valeur  $\gamma_{s,red1} = 1,1$ .

En outre, 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  $\gamma_{c,red1} = 1,4$ .

## Tolérances réduites

$h$ ou $b$ (mm)	$\leq 150$	400	$\geq 2\ 500$
<b>Tolérance sur les dimensions de la section transversale <math>\pm\Delta h</math>, <math>\pm\Delta b</math> (mm)</b>	5	10	30
<b>Tolérance sur la position moyenne des armatures dans la direction défavorable pour la hauteur utile (mm)</b>	5	10	20

On peut effectuer une interpolation pour les valeurs intermédiaires.

- **Réduction basée sur l'utilisation, pour le calcul, de données géométriques réduites ou mesurées**

Si le calcul de la résistance est basé sur des données géométriques critiques, y compris la hauteur utile, qui sont, soit réduites par les imperfections, soit mesurées dans la structure finie, les coefficients partiels peuvent être réduits aux valeurs  $\gamma_{s,red2} = 1,05$  et  $\gamma_{c,red2} = 1,45$ .

En outre, 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  $\gamma_{c,red3} = 1,35$ .

- **Réduction basée sur l'évaluation de la résistance du béton dans la structure finie**

Pour des valeurs de résistance du béton mesurées sur des essais dans un élément ou une structure terminés (voir l'EN 137911, l'EN 206-1 et les normes de produit appropriées),  $\gamma_c$  peut être réduit au moyen du coefficient de conversion  $\eta = 0,85$ .

Cependant, après application des réductions éventuelles telles qu'envisagées précédemment, la valeur résultante du coefficient partiel ne devrait pas être prise inférieure à  $\gamma_{c,red4} = 1,3$ .

## 1.2.6 États limites ultimes

### ■ Vérification de l'équilibre statique et de la résistance

Lorsque l'on considère un état limite d'équilibre statique (EQU), il faut vérifier que :

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

avec  $E_{d,dst}$  la valeur de calcul de l'effet des actions déstabilisatrices, et  $E_{d,stab}$  la valeur de calcul de l'effet des actions stabilisatrices.

Lorsque l'on considère un état limite de rupture ou de déformation excessive (STR ou GEO), il faut vérifier que :

$$E_d \leq R_d$$

avec  $E_d$  la valeur de calcul de l'effet des actions, et  $R_d$  la valeur de calcul de la résistance correspondante.

### ■ **Combinaisons d'actions pour situations durables ou transitoires**

Les combinaisons fondamentales à considérer s'écrivent symboliquement :

#### □ **Vérification des états limites EQU (ensemble A)**

$$1,10G_{k,sup} + 0,90G_{k,inf} + 1,50Q_{k,1} + 1,50 \sum \psi_{0,i} Q_{k,i>1}$$

#### □ **Vérification des états limites STR ou GEO (ensemble B)**

$$1,35G_{k,sup} + 1,00G_{k,inf} + 1,50Q_{k,1} + 1,50 \sum \psi_{0,i} Q_{k,i>1}$$

- ▶  $G_{k,sup}$  actions permanentes défavorables. Lorsque la prise en compte des effets du retrait est requise pour l'état limite ultime, il convient d'utiliser un coefficient partiel relatif aux effets du retrait  $\gamma_{SH} = 1,0$ .
- ▶  $G_{k,inf}$  actions permanentes favorables.
- ▶  $Q_{k,1}$  action variable dominante. Lorsqu'une action variable est physiquement bornée, le coefficient 1,50 est remplacé par 1,35.
- ▶  $Q_{k,i>1}$  actions variables d'accompagnement.

### ■ **Combinaisons d'actions pour situations accidentelles ou sismiques**

Les combinaisons accidentelles à considérer s'écrivent symboliquement :

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ou } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i>1}$$

Les combinaisons sismiques à considérer s'écrivent symboliquement :

$$G_{k,\text{sup}} + G_{k,\text{inf}} + A_{\text{Ed}} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i \geq 1}$$

## 1.2.7 États limites de service

### ■ Vérifications

Lorsque l'on considère un état limite de service, il faut vérifier que :

$$E_d \leq C_d$$

avec  $E_d$  la valeur de calcul de l'effet des actions spécifiée dans le critère d'aptitude au service considéré, et  $C_d$  la valeur limite de calcul du critère d'aptitude au service considéré.

### ■ Combinaisons d'actions

Les combinaisons caractéristiques à considérer s'écrivent symboliquement :

$$G_{k,\text{sup}} + G_{k,\text{inf}} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i > 1}$$

Les combinaisons fréquentes à considérer s'écrivent symboliquement :

$$G_{k,\text{sup}} + G_{k,\text{inf}} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i > 1}$$

Les combinaisons quasi-permanentes à considérer s'écrivent symboliquement :

$$G_{k,\text{sup}} + G_{k,\text{inf}} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i \geq 1}$$

## 1.3 L'Eurocode 1 – Actions

Les actions peuvent être données par les parties concernées de l'EN 1991 :

- ▶ 1991-1-1 – Poids propre des matériaux – Charges d'exploitation des bâtiments.
- ▶ 1992-1-2 – Action sur les structures exposées au feu.

- ▶ 1991-1-3 – Actions de la neige.
- ▶ 1991-1-4 – Actions du vent.
- ▶ 1991-1-5 – Actions thermiques.
- ▶ 1991-1-6 – Actions en cours d'exécution.

Voir le chapitre 3 pour plus d'informations.

## 1.4 L'Eurocode 2 – Structures en béton

L'Eurocode 2 s'applique au calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil en béton non armé, en béton armé et en béton précontraint.

On se limite ici aux ouvrages en béton armé et on ne traite ni des ouvrages en béton non armé ni des ouvrages en béton précontraint.

L'Eurocode 2 est destiné à être utilisé conjointement avec les normes EN 1990, EN 1991, EN 1997 et EN 1998, ainsi qu'avec les textes relatifs aux produits de construction en rapport avec les structures en béton et à l'exécution des ouvrages en béton.

### Rappel

Dans l'ouvrage, les références entre crochets renvoient au numéro de l'article correspondant de l'Eurocode 2.

## 1.5 Notations utilisées dans les Eurocodes

### ■ Notations en majuscules latines

$A$	Action accidentelle
$A$	Aire de la section droite
$A_c$	Aire de la section droite du béton
$A_s$	Aire de la section des armatures de béton armé
$A_{s,min}$	Aire de la section minimale d'armatures
$A_{sw}$	Aire de la section des armatures d'effort tranchant

$D$	Diamètre du mandrin de cintrage
$E$	Effet des actions
$E_c, E_{c(28)}$	Module d'élasticité tangent à l'origine ( $\sigma_c = 0$ ) pour un béton de masse volumique courante à 28 jours
$E_{c,eff}$	Module d'élasticité effectif du béton
$E_{cd}$	Valeur de calcul du module d'élasticité du béton
$E_{cm}$	Module d'élasticité sécant du béton
$E_c(t)$	Module d'élasticité tangent à l'origine ( $\sigma_c = 0$ ) au temps $t$ pour un béton de masse volumique courante
$E_s$	Valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de béton armé
$EI$	Rigidité en flexion
EQU	Équilibre statique
$F$	Action
$F_d$	Valeur de calcul d'une action
$F_k$	Valeur caractéristique d'une action
$G_k$	Valeur caractéristique d'une action permanente
$I$	Moment d'inertie de la section de béton
$L$	Longueur
$M$	Moment fléchissant
$M_{Ed}$	Valeur de calcul du moment fléchissant agissant
$N$	Effort normal
$N_{Ed}$	Valeur de calcul de l'effort normal agissant (traction ou compression)
$Q_k$	Valeur caractéristique d'une action variable
$R$	Résistance
$S$	Efforts et moments internes (Sollicitations)
$S$	Moment statique
SLS	État limite de service (ELS)
$T$	Moment de torsion
$T_{Ed}$	Valeur de calcul du moment de torsion agissant
ULS	État limite ultime (ELU)
$V$	Effort tranchant
$V_{Ed}$	Valeur de calcul de l'effort tranchant agissant

## ■ Notations en minuscules latines

$a$	Distance
$a$	Donnée géométrique
$\Delta a$	Tolérance pour les données géométriques
$b$	Largeur totale d'une section droite ou largeur réelle de la table d'une poutre en T ou en L
$b_w$	Largeur de l'âme des poutres en T, en I ou en L
$d$	Diamètre ; profondeur
$d$	Hauteur utile d'une section droite
$d_g$	Dimension nominale supérieure du plus gros granulat
$e$	Excentricité
$f_c$	Résistance en compression du béton
$f_{cd}$	Valeur de calcul de la résistance en compression du béton
$f_{ck}$	Résistance caractéristique en compression du béton, mesurée sur cylindre à 28 jours
$f_{cm}$	Valeur moyenne de la résistance en compression du béton, mesurée sur cylindre
$f_{ctk}$	Résistance caractéristique en traction directe du béton
$f_{ctm}$	Valeur moyenne de la résistance en traction directe du béton
$f_{0,2k}$	Valeur caractéristique de la limite d'élasticité conventionnelle à 0,2 % de l'acier de béton armé
$f_t$	Résistance en traction de l'acier de béton armé
$f_{tk}$	Résistance caractéristique en traction de l'acier de béton armé
$f_y$	Limite d'élasticité de l'acier de béton armé
$f_{yd}$	Limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé
$f_{yk}$	Limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé
$f_{ywd}$	Limite d'élasticité de calcul des armatures d'effort tranchant
$h$	Hauteur
$h$	Hauteur totale de la section droite
$i$	Rayon de giration
$k$	Coefficient ; facteur
$l$ (ou $L$ )	Longueur ; portée
$m$	Masse
$r$	Rayon
$1/r$	Courbure en une section donnée

$T$	Épaisseur
$t$	Instant considéré
$t_0$	Âge du béton au moment du chargement
$u$	Périmètre de la section droite de béton dont l'aire est $A_c$
$u, v, w$	Composantes du déplacement d'un point
$x$	Profondeur de l'axe neutre
$x, y, z$	Coordonnées
$z$	Bras de levier des forces internes

## ■ Notations en minuscules grecques

$\alpha$	Angle ; rapport
$\beta$	Angle ; rapport ; coefficient
$\gamma$	Coefficient partiel
$\gamma_A$	Coefficient partiel relatif aux actions accidentelles $A$
$\gamma_C$	Coefficient partiel relatif au béton
$\gamma_F$	Coefficient partiel relatif aux actions $F$
$\gamma_G$	Coefficient partiel relatif aux actions permanentes $G$
$\gamma_M$	Coefficient partiel relatif à une propriété d'un matériau, compte tenu des incertitudes sur la propriété elle-même, sur les imperfections géométriques et sur le modèle de calcul utilisé
$\gamma_Q$	Coefficient partiel relatif aux actions variables $Q$
$\gamma_S$	Coefficient partiel relatif à l'acier de béton armé
$\gamma_f$	Coefficient partiel relatif aux actions, compte non tenu des incertitudes de modèle
$\gamma_g$	Coefficient partiel relatif aux actions permanentes, compte non tenu des incertitudes de modèle
$\gamma_m$	Coefficient partiel relatif à une propriété d'un matériau, seules les incertitudes sur la propriété du matériau étant prises en compte
$\delta$	Incrément
$\zeta$	Coefficient de réduction ; coefficient de distribution
$\varepsilon_c$	Déformation relative en compression du béton
$\varepsilon_{cl}$	Déformation relative en compression du béton au pic de contrainte
$f_c \varepsilon_{cu}$	Déformation relative ultime du béton en compression

$\varepsilon_u$	Déformation relative de l'acier de béton armé sous charge maximale
$\varepsilon_{uk}$	Valeur caractéristique de la déformation relative de l'acier de béton armé sous charge maximale
$\theta$	Angle
$\lambda$	Coefficient d'élanement
$\mu$	Coefficient de frottement
$\nu$	Coefficient de Poisson
$\nu$	Coefficient de réduction de la résistance du béton fissuré en cisaillement
$\rho$	Masse volumique du béton séché en étuve, en $\text{kg/m}^3$
$\rho_l$	Pourcentage d'armatures longitudinales
$\rho_w$	Pourcentage d'armatures d'effort tranchant
$\sigma_c$	Contrainte de compression du béton
$\sigma_{cp}$	Contrainte de compression du béton due à un effort normal
$\sigma_{cu}$	Contrainte de compression du béton correspondant à la déformation ultime en compression
$\varepsilon_{cuT}$	Contrainte de cisaillement en torsion
$\varnothing$	Diamètre d'une barre d'armature
$\varnothing_n$	Diamètre équivalent d'un paquet de barres
$\varphi(t, t_0)$	Coefficient de fluage, définissant le fluage entre les temps $t$ et $t_0$ , par rapport à la déformation élastique à 28 jours
$\varphi(\infty, t_0)$	Valeur finale du coefficient de fluage
$\psi$	Coefficients définissant les valeurs représentatives des actions variables
$\psi_0$	pour les valeurs de combinaison
$\psi_1$	pour les valeurs fréquentes
$\psi_2$	pour les valeurs quasi-permanentes

# A

Règles

**générales**



# 2

## Matériaux

### 2.1 Béton

#### 2.1.1 Classes de résistance du béton [3.1.2.4]

Le projet doit être élaboré à partir d'une classe de résistance du béton correspondant à une valeur spécifiée de résistance caractéristique en compression.

On utilise la dénomination, par exemple C25/30, en référence à la résistance caractéristique sur cylindre/sur cube.

#### 2.1.2 Résistance en compression [3.1.2]

##### ■ Résistance caractéristique

La résistance en compression est désignée par la classe de résistance liée à la résistance caractéristique (fractile 5 %) mesurée sur cylindre  $f_{ck}$ , ou sur cube  $f_{ck,cube}$  définie comme la valeur au-dessous de laquelle on peut s'attendre à rencontrer 5 % de l'ensemble des résultats d'essais de résistance possibles du béton spécifié.

La résistance moyenne en compression du béton à l'âge  $t$ ,  $f_{cm}(t)$ , peut être estimée pour une température moyenne de 20 °C et une cure conforme à l'EN 12390 à :

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$