

AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages en béton armé

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



Pierre **Guillemont**

EDITIONS
LE MONITEUR

AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages en béton armé

4^e édition

DUNOD

Graphisme de couverture : Nicolas Hubert

Photo de couverture : © Fotolia.com

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^{er} 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, 1997, 2006, 2009, 2013, 2015

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-072357-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o 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 |
| 1 ■ Présentation | 3 |
| 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

| | |
|--|-----------|
| 2 ■ Matériaux | 21 |
| 2.1 Béton | 21 |
| 2.2 Aciers de béton armé | 32 |
| 2.3 Association acier-béton | 33 |
| 2.4 Durabilité et dispositions constructives | 45 |
| 3 ■ Actions | 55 |
| 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

| | |
|----------------------------------|------------|
| 8 ■ Poutres | 203 |
| 8.1 Sollicitations | 203 |
| 8.2 Armatures longitudinales | 217 |
| 8.3 Armatures transversales | 225 |
| 9 ■ Dalles | 229 |
| 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

| | |
|--|------------|
| 10 ■ Planchers-dalles | 245 |
| 10.1 Analyse des planchers-dalles | 245 |
| 10.2 Dispositions constructives | 246 |
| 11 ■ Comportement au feu | 251 |
| 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 |

| | |
|---|------------|
| 12 ■ Fondations superficielles | 277 |
| 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 |
| 13 ■ Fondations profondes | 307 |
| 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 |
| 14 ■ Murs de soutènement | 339 |
| 14.1 Généralités | 339 |
| 14.2 Actions | 339 |
| 14.3 Justifications | 345 |
| Bibliographie | 353 |
| Index | 355 |

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^e 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 |
|----------------|---|
| EN 1991 | Actions sur les structures |
| 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 |
| EN 1992 | Calcul des structures en béton |
| 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 |
| EN 1993 | Calcul des structures en acier |
| 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 |
| EN 1994 | Calcul des structures mixtes acier-béton |
| 1994-1-1 | Règles communes |
| 1994-1-2 | Résistance au feu |
| 1994-2 | Ponts |
| EN 1995 | Calcul des structures en bois |
| 1995-1-1 | Règles communes applicables aux bâtiments |
| 1995-1-2 | Résistance au feu |
| 1995-2 | Ponts |
| EN 1996 | Calcul des structures en maçonnerie |
| 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 |
| EN 1997 | Calcul géotechnique |
| 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_{rep} est la valeur représentative appropriée de l'action, et γ_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 γ_{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 ; η est un coefficient de conversion qui tient compte des paramètres tels que les effets du volume, de l'humidité ou de la température ; γ_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 γ_{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 γ_M sur les matériaux

Le coefficient partiel sur le béton γ_c et le coefficient de sécurité partiel sur l'acier γ_s ont les valeurs suivantes :

| | γ_c | γ_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 γ_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) | ≤ 150 | 400 | $\geq 2\ 500$ |
|--|------------|-----|---------------|
| Tolérance sur les dimensions de la section transversale $\pm\Delta h$, $\pm\Delta b$ (mm) | 5 | 10 | 30 |
| Tolérance sur la position moyenne des armatures dans la direction défavorable pour la hauteur utile (mm) | 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), γ_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 :

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

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 |
| Δa | 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

| | |
|------------------------|---|
| α | Angle ; rapport |
| β | Angle ; rapport ; coefficient |
| γ | Coefficient partiel |
| γ_A | Coefficient partiel relatif aux actions accidentelles A |
| γ_C | Coefficient partiel relatif au béton |
| γ_F | Coefficient partiel relatif aux actions F |
| γ_G | Coefficient partiel relatif aux actions permanentes G |
| γ_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 |
| γ_Q | Coefficient partiel relatif aux actions variables Q |
| γ_S | Coefficient partiel relatif à l'acier de béton armé |
| γ_f | Coefficient partiel relatif aux actions, compte non tenu des incertitudes de modèle |
| γ_g | Coefficient partiel relatif aux actions permanentes, compte non tenu des incertitudes de modèle |
| γ_m | Coefficient partiel relatif à une propriété d'un matériau, seules les incertitudes sur la propriété du matériau étant prises en compte |
| δ | Incrément |
| ζ | Coefficient de réduction ; coefficient de distribution |
| ε_c | Déformation relative en compression du béton |
| ε_{cl} | Déformation relative en compression du béton au pic de contrainte |
| $f_c \varepsilon_{cu}$ | Déformation relative ultime du béton en compression |

| | |
|------------------------|---|
| ε_u | Déformation relative de l'acier de béton armé sous charge maximale |
| ε_{uk} | Valeur caractéristique de la déformation relative de l'acier de béton armé sous charge maximale |
| θ | Angle |
| λ | Coefficient d'élanement |
| μ | Coefficient de frottement |
| ν | Coefficient de Poisson |
| ν | Coefficient de réduction de la résistance du béton fissuré en cisaillement |
| ρ | Masse volumique du béton séché en étuve, en kg/m^3 |
| ρ_l | Pourcentage d'armatures longitudinales |
| ρ_w | Pourcentage d'armatures d'effort tranchant |
| σ_c | Contrainte de compression du béton |
| σ_{cp} | Contrainte de compression du béton due à un effort normal |
| σ_{cu} | Contrainte de compression du béton correspondant à la déformation ultime en compression |
| ε_{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 |
| ψ | Coefficients définissant les valeurs représentatives des actions variables |
| ψ_0 | pour les valeurs de combinaison |
| ψ_1 | pour les valeurs fréquentes |
| ψ_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 :

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