



sous la direction de Jean-Pierre Muzeau

Manuel de construction métallique

Extraits des Eurocodes 0, 1 et 3



3^e édition
revue et mise à jour



afnor
ÉDITIONS

● Éditions
EYROLLES



Couverture : Alain Bonaventure / Page B

COLLECTION
EUROCODE

afnor
EDITIONS

● Éditions
EYROLLES

APK

Association pour la promotion
de l'enseignement de la construction acier

sous la direction de
Jean-Pierre Muzeau

Manuel de construction métallique

L' Eurocode 3 : « Calcul des structures en acier » a succédé aux anciens textes nationaux (CM 66 et Additif 80). Il est divisé en douze parties dont les deux principales sont traitées dans ce manuel : EN 1993-1-1 : *Règles générales et règles pour les bâtiments* et EN 1993-1-8 : *Calcul des assemblages*.

Les extraits présentés ici permettent de **traiter un projet de bâtiment simple**. En complément indispensable, on trouvera aussi des extraits des **Eurocodes 0 et 1**. Ils contiennent **les règles de base et le calcul des actions**, notamment les éléments permettant de déterminer les actions de la **neige** et du **vent** sur les bâtiments courants.

Principalement destiné aux élèves du **BTS Architectures en métal : conception et réalisation (BTS AMCR)** et aux étudiants en **génie civil (IUT et écoles d'ingénieurs)** ainsi qu'à leurs **enseignants** respectifs, ce manuel procurera également à tous les **professionnels de la construction métallique** un guide pour s'orienter dans le dédale des Eurocodes.

Sommaire

Symboles utilisés • **A. Eurocode 0 : Bases de calculs** – **Eurocode 1 : Actions sur les structures** • 1. Bases de calcul des structures – 2. Actions générales – 3. Actions de la neige sur les structures – 4. Action du vent sur les structures • **B. Eurocode 3 : Calcul des structures en acier** • 5. Règles générales et règles pour le bâtiment • **C. Eurocode 3 : Calcul des assemblages** • 6. Calcul des assemblages

Sous la direction de Jean-Pierre Muzeau, directeur scientifique du CHEC et président de l'APK, avec l'aide de Marie-Christine Ritter de ConstruireAcier et le concours de l'APK elle-même, **quinze professeurs de lycées techniques de toute la France ont contribué à la rédaction de l'ouvrage** : R. Aguirre, P. Girod et E. Hadjadji, lycée Albert Claveille (Périgueux) ; Ph. Boineau, lycée Aristide Briand (Saint-Nazaire) ; B. Carton, lycée Monge (Chambéry) ; C. Dehlinger, lycée Stanislas (Wissembourg) ; J.-F. Ferrier, lycée Frédéric Faÿs (Villeurbanne) ; L. Garnier, lycée Jean-Pierre Timbaud (Brétigny) ; S. Guillon et J. Noc, lycée La Mache (Lyon) ; J. Harduin et O. Xuereb, lycée Jean Lurçat (Martigues) ; G. Lerun, lycée Yves Thépôt (Quimper) ; M. Plouviez, lycée Jean Prouvé (Lomme) et D. Revel, lycée Le Garros (Auch).

Dans la même collection :

Collectif sous la direction de Jean-Pierre Muzeau avec le concours de l'APK, *La construction métallique avec les Eurocodes. Interprétation et exemples de calcul*, 2013, 480 pages

www.editions-eyrolles.com
Éditions Eyrolles | Diffusion Geodif
www.boutique-livres.afnor.org

Code Eyrolles : 60067803
ISBN Eyrolles : 978-2-212-67803-1
Code Afnor : 3465715
ISBN Afnor : 978-2-12-465715-5



sous la direction de Jean-Pierre Muzeau

Manuel de construction métallique

Extraits des Eurocodes 0, 1 et 3

3^e édition

ÉDITIONS EYROLLES
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

AFNOR ÉDITIONS
11, rue Francis-de-Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
www.boutique-livres.afnor.org

Le programme des Eurocodes structuraux comprend les normes suivantes, chacune étant en général constituée d'un certain nombre de parties :

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

Les normes Eurocodes reconnaissent la responsabilité des autorités réglementaires dans chaque État membre et ont sauvegardé le droit de celles-ci de déterminer, au niveau national, des valeurs relatives aux questions réglementaires de sécurité, là où ces valeurs continuent à différer d'un État à un autre.

En couverture, de gauche à droite et de haut en bas :

Première page :

- ITER, Cadarache ; ENIA Architectes
- Musée du quai Branly-Jacques Chirac, Paris ; architecte : Jean Nouvel. Constructeur métallique : Joseph Paris (Groupe Fayat).
- Parc des expositions, Toulouse ; architectes : Rem Koolhaas (OMA) associé à Puig Pujol Architectures (PPa) et Taillandier Architectes associés. Constructeur métallique : DL Garonne.
- Orange Vélodrome, Marseille ; architecte : Jean-Pierre Buffi. Constructeur métallique : Horta Coslada.
- Stade Pierre Mauroy, Villeneuve-d'Ascq ; architectes : Valode & Pistre associés à Pierre Ferret. Constructeur métallique : Eiffage Métal.

Dernière page :

- Canopée des Halles, Paris; architectes : Patrick Berger & Jacques Anziutti. Constructeur métallique : Viry (Groupe Fayat).
- Fondation Luma, Arles ; architecte : Frank Gehry. Constructeur métallique : Eiffage Métal.
- Musée des Confluences, Lyon ; architecte : Coop Himmelb(l)au. Constructeur métallique : SMB et Renaudat Centre Constructions.

Toutes photos © Jean-Pierre Muzeau

Aux termes du Code de la propriété intellectuelle, toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. L'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie doit être obtenue auprès du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) – 20, rue des Grands-Augustins – 75006 Paris.

© Afnor et Groupe Eyrolles, 2012 et 2014 pour la 1^{re} et la 2^e éditions

© Afnor et Éditions Eyrolles, 2019 pour la 3^e édition

ISBN Afnor : 978-2-12-465715-5

ISBN Eyrolles : 978-2-212-67803-1

Table des matières

Avant-propos.....	11
Avertissement.....	13
Documents de référence.....	15
Introduction.....	17
1. Objet des normes Eurocodes	17
2. Historique et avenir des normes Eurocodes	17
3. Principes de calcul et vérifications.....	18
Les états limites.....	19
Liste des symboles	21
Symboles utilisés dans l'introduction et la partie A	21
Eurocode 0 (EN 1990)	21
Eurocode 1	22
<i>Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments</i> <i>(EN 1991-1-1).....</i>	22
<i>Actions de la neige (EN 1991-1-3)</i>	22
<i>Actions du vent (EN 1991-1-4).....</i>	23
Symboles utilisés dans la partie B	25
Symboles utilisés dans la partie C	30

PARTIE A

EUROCODE 0 – Bases de calcul

EUROCODE 1 – Actions sur les structures

CHAPITRE 1. Bases de calcul des structures.....	35
1. Généralités.....	35
2. Exigences.....	35

3. Principes du calcul aux états limites	36
3.1 Les états limites ultimes ELU.....	36
3.2 Les états limites de service ELS.....	36
4. Variables de base	37
4.1 Actions sur les structures.....	37
4.1.1 Valeur caractéristique d'une action.....	37
4.1.2 Valeurs représentatives des actions variables.....	37
4.1.3 Valeurs de calcul des actions.....	37
4.2 Propriétés des matériaux.....	37
4.3 Données géométriques.....	38
5. Analyse structurale et dimensionnement assistés par l'expérimentation	38
6. Vérification par la méthode des coefficients partiels	39
6.1 Vérifications et combinaisons d'actions ELU.....	39
6.2 Vérifications et combinaisons d'actions ELS.....	40
Annexe 1. Application pour les bâtiments	41
A1.3 – Combinaisons d'actions ELU.....	41
A1.4 – Combinaisons d'actions ELS.....	42
Annexe 2. Tableau pratique	44
 CHAPITRE 2. Actions générales	 47
1. Généralités	47
1.1 Domaine d'application.....	47
1.2 Références normatives.....	47
1.3 Distinction entre principes et règles d'application.....	47
1.4 Termes et définitions.....	47
1.4.1 Poids volumique apparent.....	48
1.4.2 Angle de talus naturel.....	48
1.4.3 Poids total autorisé en charge (PTAC).....	48
1.4.4 Éléments structuraux.....	48
1.4.5 Éléments non structuraux.....	48
1.4.6 Cloisons.....	48
1.4.7 Cloisons mobiles.....	48
1.5 Symboles.....	48
2. Classification des actions	48
2.1 Poids propre.....	48
2.2 Charges d'exploitation.....	49
3. Situations de projet	49
3.1 Généralités.....	49
3.2 Charges permanentes.....	49

3.3	Charges d'exploitation	49
3.3.1	Généralités	49
3.3.2	Dispositions complémentaires pour les bâtiments	50
4.	Poids volumiques des matériaux de construction et des produits stockés	50
4.1	Généralités	50
5.	Poids propre des constructions	50
5.1	Représentation des actions	50
5.2	Valeurs caractéristiques du poids propre	51
5.2.1	Généralités	51
5.2.2	Dispositions complémentaires pour les bâtiments	51
6.	Charges d'exploitation dans les bâtiments	51
6.1	Représentation des actions	51
6.2	Dispositions des charges	52
6.2.1	Planchers, poutres et toitures	52
6.2.2	Poteaux et murs	52
6.3	Valeurs caractéristiques des charges d'exploitation	52
6.3.1	Bâtiments résidentiels, sociaux, commerciaux ou administratifs	52
6.3.2	Aires de stockage et locaux industriels	54
6.3.3	Garages et aires de circulation accessibles aux véhicules	55
6.3.4	Toitures	55
6.4	Charges horizontales sur les garde-corps et les murs de séparation	56
Annexe A.	Tableaux des valeurs nominales des poids volumiques des matériaux de construction et des valeurs nominales des poids volumiques et des angles de talus naturel des matériaux stockés	57
CHAPITRE 3.	Actions de la neige sur les structures	61
1.	Généralités	61
1.1	Domaine d'application	61
1.2	Termes et définitions	61
1.3	Symboles et abréviations	61
2.	Classification des actions de la neige	62
3.	Situations de projet	62
4.	Charges de neige sur le sol	62
4.1	Valeurs caractéristiques	62
4.2	Autres valeurs représentatives	63
5.	Charges de neige sur les toitures	66
5.1	Nature de la charge	66
5.2	Dispositions de charge	67

5.3	Coefficients de forme pour les toitures	68
5.3.1	Généralités	68
5.3.2	Toitures à un seul versant	68
5.3.3	Toitures à deux versants	68
5.3.4	Toitures à versants multiples	69
5.3.5	Toitures cylindriques	70
5.3.6	Toitures attenant à des constructions plus élevées ou très proches d'elles	
	71	
6.	Effets locaux	72
6.1	Généralités	72
6.2	Accumulation au droit de saillies et d'obstacles	72
CHAPITRE 4.	Actions du vent sur les structures	75
1.	Généralités	75
3.	Modélisation des actions du vent	75
3.1	Nature	75
3.2	Représentations des actions du vent	75
3.3	Classification des actions du vent	76
3.4	Valeurs caractéristiques	76
3.5	Modèles	76
4.	Vitesse du vent et pression dynamique	76
4.1	Base de calcul	76
4.2	Valeurs de référence	77
4.2(1)	Annexe Nationale – Vitesse de référence et régions climatiques	
	en France	78
4.3	Vent moyen	82
4.3.1	Variation avec la hauteur	82
4.3.2	Rugosité du terrain	82
4.4	Pression dynamique de pointe	83
5.	Actions du vent	84
5.1	Généralités	84
5.2	Pression aérodynamique sur les surfaces	84
5.3	Forces exercées par le vent	85
7.	Coefficients de pression et de force	86
7.1	Généralités	86
7.1.1	Choix du coefficient aérodynamique	86
7.2	Coefficients de pression pour les bâtiments	87
7.2.1	Généralités	87
7.2.2	Murs verticaux des bâtiments à plan rectangulaire	88
7.2.3	Toitures-terrasses	91
7.2.4	Toitures à un seul versant	92
7.2.5	Toitures à deux versants	94

7.2.7	Toitures multiples (<i>shed</i>).....	97
7.2.8	Toitures en voûte.....	98
7.2.9	Pression intérieure.....	99
7.3	Toitures isolées.....	101
7.4	Murs isolés, acrotères, clôtures et panneaux de signalisation.....	106
7.4.1	Murs isolés et acrotères.....	106
7.5	Coefficients de frottement	108
Annexe 1. Lecture simplifiée de l'article 7.2.9 : « Pression intérieure ».....		110

PARTIE B

EUROCODE 3 –Calcul des structures en acier

CHAPITRE 5.	Règles générales et règles pour les bâtiments.....	115
1.	Généralités.....	115
1.1	Domaine d'application	115
1.1.1	Domaine d'application de l'Eurocode 3	115
1.1.2	Domaine d'application de la partie 1-1.....	115
1.2	Références normatives.....	116
1.2.1	Normes de référence générales.....	116
1.2.2	Normes de référence pour l'acier de construction soudable	116
1.3	Hypothèses	116
1.4	Distinction entre principes et règles d'application	116
1.5	Termes et définitions.....	116
1.6	Symboles	116
1.7	Conventions pour les axes des barres.....	116
	Caractéristiques géométriques des sections droites	117
2.	Bases de calcul.....	119
2.1	Exigences	119
2.1.1	Exigences fondamentales.....	119
2.1.2	Gestion de la fiabilité	119
2.1.3	Durée de vie de calcul, durabilité et robustesse	119
2.2	Principes de calcul aux états limites.....	119
2.3	Variables de base.....	119
2.3.1	Actions et influences de l'environnement	119
2.3.2	Propriétés des matériaux et produits	119
2.4	Vérification par la méthode des coefficients partiels.....	120
2.4.1	Valeurs de calcul des propriétés des matériaux	120
2.4.2	Valeurs de calcul des données géométriques.....	120
2.4.3	Résistances de calcul R_d	120
2.4.4	Vérification de l'équilibre statique	120
2.5	Calcul assisté par des essais.....	120

3. Matériaux	121
3.1 Généralités.....	121
3.2 Acier de construction.....	121
3.2.1 Propriétés des matériaux.....	121
3.2.2 Exigences de ductilité	122
3.2.3 Ténacité à la rupture.....	123
3.2.4 Propriétés dans le sens de l'épaisseur.....	123
3.2.5 Tolérances.....	123
3.2.6 Valeurs de calcul des propriétés de matériau	123
3.3 Dispositifs d'assemblage.....	123
3.3.1 Fixations.....	123
3.3.2 Produits d'apport de soudage.....	124
3.4 Autres produits préfabriqués utilisés dans les bâtiments.....	124
4. Durabilité.....	124
5. Analyse structurale.....	124
5.1 Modélisation structurale en vue de l'analyse.....	124
5.1.1 Modélisation structurale et hypothèses fondamentales.....	124
5.1.2 Modélisation des assemblages	124
5.1.3 Interaction sol-structure.....	125
5.2 Analyse globale.....	125
5.2.1 Effets de la déformation géométrique de la structure	125
5.2.2 Stabilité structurale des ossatures	126
5.3 Imperfections.....	128
5.3.1 Bases.....	128
5.3.2 Imperfections pour l'analyse globale des ossatures	128
5.3.3 Imperfections pour l'analyse des systèmes de contreventement	129
5.3.4 Imperfections des éléments	131
5.4 Méthodes d'analyse prenant en compte les non-linéarités de comportement du matériau.....	131
5.4.1 Généralités.....	131
5.4.2 Analyse globale élastique.....	131
5.4.3 Analyse globale plastique	131
5.5 Classification des sections transversales	132
5.5.1 Bases.....	132
5.5.2 Classification.....	132
6. États limites ultimes	137
6.1 Généralités.....	137
6.2 Résistances des sections transversales.....	137
6.2.1 Généralités	137
6.2.2 Propriétés des sections	138
6.2.3 Traction	140
6.2.4 Compression	140
6.2.5 Moment fléchissant	140
6.2.6 Cisaillement	141

6.2.7	Torsion.....	143
6.2.8	Flexion et cisaillement.....	143
6.2.9	Flexion et effort normal.....	144
6.2.10	Flexion, cisaillement et effort normal.....	145
6.3	Résistance des barres aux instabilités	146
6.3.1	Barres uniformes comprimées.....	146
6.3.2	Barres uniformes fléchies.....	149
6.3.3	Barres uniformes fléchies et comprimées	151
Annexe A (informative). Méthode 1 : Facteurs d'interaction k_{ij} pour la formule		
	d'interaction donnée en 6.3.3 (4).....	153
6.3.4	Méthode générale de vérification du flambement latéral et du déversement de composants structuraux	155
6.3.5	Déversement des barres avec rotules plastiques	155
6.4	Barres composées uniformes en compression	157
6.4.1	Barres composées à membrures faiblement espacées	157
7.	États limites de service.....	158
7.1	Généralités.....	158
7.2	États limites de service pour les bâtiments.....	159
7.2.1	Flèches verticales	159
7.2.2	Flèches horizontales.....	160
7.2.3	Effets dynamiques	162
Annexe 1.	Classification des sections transversales des profilés laminés courants	163
Annexe 2.	Valeurs du coefficient de réduction χ pour les cinq courbes	
	de flambement.....	173
Annexe 3.	Annexe E (informative) de l'ENV 1993-1-1 : Longueur de flambement	
	d'un élément comprimé.....	179
E.1	Bases.....	180
E.2	Poteaux d'ossatures de bâtiment.....	180
Annexe 4.	Annexe AX1 de l'annexe nationale de l'EN 1993-1-1	187
1.	Objectif et domaine d'application.....	188
2.	Formulation de M_{cr}	189
3.	Coefficients C_1 et C_2	190
3.1	Généralités.....	190
3.2	Barre seulement soumise à des moments d'extrémité	191
3.3	Barre avec charge transversale	191
3.4	Barre avec moments d'extrémité et charge transversale (ponctuelle ou répartie uniforme)	192

PARTIE C

EUROCODE 3 – Calcul des assemblages

CHAPITRE 6. Calcul des assemblages	205
1. Introduction	205
1.1 Objet	205
1.3 Termes et définitions	205
1.3.1 Composant de base (d'un assemblage)	205
1.3.2 Attache	205
1.3.3 Élément attaché	205
1.3.4 Assemblage	206
1.3.5 Configuration de l'assemblage	206
1.3.6 Capacité de rotation	206
1.3.7 Rigidité en rotation	206
1.3.8 Propriétés structurales (d'un assemblage)	206
1.3.9 Assemblage plan	206
2. Bases de calcul	207
2.1 Hypothèses	207
2.2 Exigences générales	207
2.3 Sollicitations	208
2.4 Résistance des assemblages	208
2.5 Hypothèses de calcul	208
2.6 Assemblages sollicités en cisaillement soumis à des chocs, à des vibrations et/ou à des charges alternées	209
2.7 Excentricité au niveau des intersections	209
2.8 Références	210
3. Attaches par boulons ou axes d'articulation	210
3.1 Boulons, vis, écrous et rondelles	210
3.1.1 Généralités	210
3.1.2 Boulons précontraints	211
3.3 Boulons d'ancrage	211
3.4 Catégories d'attaches boulonnées	212
3.4.1 Attaches en cisaillement	212
3.4.2 Attaches tendues	212
3.5 Positionnement des trous de boulons et de rivets	213
3.5.1 Dimensions des trous selon EN 1090-2 6.6.1	215
3.6 Résistance individuelle de calcul des fixations	216
3.6.1 Boulons	216
3.7 Groupe de fixations	219
3.8 Assemblages longs	219
3.9 Attaches résistant au glissement comportant des boulons précontraints de classe 8.8 ou 10.9	219
3.9.1 Résistance au glissement	219

3.9.2	<i>Traction et cisaillement combinés</i>	221
3.9.3	<i>Attaches hybrides</i>	221
3.10	Déductions pour les trous de fixations	221
3.10.1	<i>Généralités</i>	221
3.10.2	<i>Calcul du cisaillement de bloc</i>	221
3.10.3	<i>Cornières tendues attachées par une aile et autres barres tendues attachées de façon non symétrique</i>	222
3.11	Effet de levier	223
3.12	Distribution des efforts entre fixations à l'état limite ultime	223
3.13	Attaches par axes d'articulation	225
3.13.1	<i>Généralités</i>	225
3.13.2	<i>Calcul des axes d'articulation</i>	225
4.	Attaches soudées	227
4.1	Généralités	227
4.2	Produits d'apport de soudage	227
4.3	Géométrie et dimensions	228
4.3.1	<i>Type de soudure</i>	228
4.3.2	<i>Soudures d'angle</i>	228
4.3.3	<i>Soudures bout à bout</i>	229
4.5	Résistance de calcul d'une soudure d'angle	229
4.5.1	<i>Longueur des soudures</i>	229
4.5.2	<i>Gorge utile</i>	229
4.5.3	<i>Résistance des soudures d'angle</i>	230
4.7	Résistance de calcul des soudures bout à bout	231
4.7.1	<i>Soudures bout à bout à pleine pénétration</i>	231
4.7.3	<i>Assemblages bout à bout en T</i>	231
4.9	Distribution des forces	232
4.10	Attaches sur des semelles non raidies	232
4.11	Assemblages longs	234
4.12	Cordons d'angle uniques ou soudures bout à bout d'un seul côté à pénétration partielle soumis à une charge excentrée	234
4.13	Cornières attachées par une seule aile	234
4.14	Soudage dans les zones formées à froid	235
5.	Analyse, classification et modélisation	237
5.1	Analyse globale	237
5.1.1	<i>Généralités</i>	237
5.1.2	<i>Analyse globale élastique</i>	238
5.2	Classification des assemblages	238
5.2.1	<i>Généralités</i>	238
5.2.2	<i>Classification par rigidité</i>	238
5.2.3	<i>Classification par résistance</i>	240
6.	Assemblages structuraux de sections en I ou en H	240
6.1	Généralités	240
6.1.1	<i>Bases</i>	240
6.1.2	<i>Composants de base d'un assemblage</i>	240

6.2	Résistance	243
6.2.2	<i>Efforts tranchants</i>	243
6.2.3	<i>Moments fléchissants</i>	243
6.2.4	<i>Tronçon en T équivalent tendu</i>	243
6.2.5	<i>Résistance des composants de base</i>	246
6.2.6	<i>Résistance des pieds de poteaux par plaque d'assise</i>	251
7.	Assemblages de profils creux	252
7.3	Soudures	252
7.3.1	<i>Résistance de calcul</i>	252
Annexe 1. Recommandations de la CNC2M pour le dimensionnement		
	des assemblages selon la norme NF EN 1993-1-8	253
2.	Attaches boulonnées	253
2.1	<i>Résistance des boulons</i>	253
2.2	<i>Résistance des attaches boulonnées</i>	254
3.	Attaches soudées	255

Avant-propos

Ce manuel est né, d'une part, de la volonté de l'Inspection générale de l'Éducation nationale (groupe des Sciences et Techniques industrielles) de mettre des « outils » à la disposition des enseignants et, d'autre part, de la mobilisation de plusieurs membres de l'**Association pour la promotion de l'enseignement de la construction acier (APK)** étroitement associés à **ConstruireAcier** (ex-OTUA). C'est l'un des résultats faisant suite aux séminaires de Saint-Sauves de novembre 2005 et mars 2006 au cours desquels une formation aux Eurocodes pour la construction métallique a été dispensée à une soixantaine d'enseignants de BTS sous l'égide de l'APK, de l'OTUA et du ministère de l'Éducation nationale.

Depuis mars 2010, les Eurocodes remplacent progressivement les textes nationaux et donc les « célèbres » CM 66 et Additif 80. Pour répondre aux besoins des professionnels de la construction, les élèves formés à la construction métallique, et notamment les étudiants de BTS de ce secteur, doivent donc, pendant leur formation, être formés aux Eurocodes et à leur utilisation. À titre d'exemple, depuis la session 2008, seules ces nouvelles normes font référence pour le diplôme de BTS Construction métallique.

Cet ouvrage représente une sélection d'informations et de données que des élèves et des étudiants en construction métallique peuvent être amenés à employer pendant leurs études, mais il ne se limite pas à cet usage. Tout nouvel utilisateur des Eurocodes peut apprendre à se familiariser avec ce vaste corpus de normes européennes à l'aide du présent manuel, qui contient un résumé succinct du contenu de certaines normes et de leurs annexes nationales. Il reste toutefois limité **aux vérifications les plus couramment rencontrées pour les structures de bâtiments industriels simples en acier** et il intègre des données importantes concernant les règles de base des Eurocodes (EN 1990) et d'autres relatives aux actions : actions générales (EN 1991-1-1), actions de la neige (EN 1991-1-3) et actions du vent (EN 1991-1-4). Il peut donc avantageusement être utilisé par les étudiants en BTS Construction métallique, mais aussi par des élèves de DUT Génie civil, des élèves des écoles d'ingénieurs, des enseignants de la construction métallique ainsi que par des professionnels « débutants ».

Ce manuel n'est nullement destiné à remplacer, même partiellement, les documents officiels beaucoup plus complets disponibles auprès de l'AFNOR. Il se veut avant tout un outil pédagogique. Toutefois, pour faciliter l'utilisation des Eurocodes eux-mêmes, les titres de chapitres et la numérotation des textes officiels ont été maintenus afin de faciliter la recherche et la navigation dans le vaste ensemble des normes européennes.

Cet ouvrage collectif a été rédigé par un groupe d'enseignants de BTS Construction métallique, membres de l'APK, sous la direction de **Jean-Pierre Muzeau**, président de l'association, professeur honoraire de Polytech Clermont-Ferrand et directeur scientifique du CHEC, et avec l'aide efficace de **Marie-Christine Ritter**, responsable de l'APK à ConstruirAcier.

Les professeurs qui ont contribué à la rédaction de l'ouvrage sont tous issus de lycées techniques. Il s'agit de :

- **Raoul Aguirre**, lycée Albert Claveille (Périgueux),
- **Philippe Boineau**, lycée Aristide Briand (Saint-Nazaire),
- **Bernard Carton**, lycée Monge (Chambéry),
- **Christophe Dehlinger**, lycée Stanislas (Wissembourg),
- **Jean-François Ferrier**, lycée Frédéric Faÿs (Villeurbanne),
- **Loïc Garnier**, lycée Jean-Pierre Timbaud (Brétigny),
- **Patrick Girot**, lycée Albert Claveille (Périgueux),
- **Stéphane Guillon**, lycée La Mache (Lyon),
- **Éric Hadjadj**, lycée Albert Claveille (Périgueux),
- **Jacques Harduin**, lycée Jean Lurçat (Martigues),
- **Guy Lerun**, lycée Yves Thépot (Quimper),
- **Joseph Noc**, lycée La Mache (Lyon),
- **Michel Plouviez**, lycée Jean Prouvé (Lomme),
- **Dominique Revel**, lycée Le Garros (Auch),
- **Olivier Xuereb**, lycée Jean Lurçat (Martigues)..

Qu'ils soient remerciés très sincèrement pour cet important travail, inédit à ce jour, de recueil et d'interprétation de ces documents normatifs relatifs à la construction métallique. Notons également que ce sont **Patrick Girot** et **Jean-François Ferrier** qui ont coordonné les mises à jour.

Remercions enfin très chaleureusement **André Montès**, inspecteur général de l'Éducation nationale, et **Joëlle Pontet**, directrice de l'OTUA, qui, avec l'APK, ont initié ce projet à vocation pédagogique et ont rendu possible sa réalisation.

Jean-Pierre MUZEAU
Président de l'APK

Avertissement

Ce manuel n'a pas vocation à remplacer, même partiellement, les documents officiels beaucoup plus complets disponibles auprès de l'AFNOR. Il consiste en un résumé succinct du contenu des normes (en voir la liste dans la partie « Documents de référence ») et il est limité aux vérifications aux états limites les plus couramment rencontrés pour les structures de bâtiments industriels.

Pour faciliter l'utilisation des Eurocodes eux-mêmes, les **titres de chapitres et la numérotation des textes officiels ont été maintenus** afin de faciliter la recherche et la navigation. Néanmoins, le contenu du texte a été réduit, parfois modifié, et quelques compléments d'information ou des tableaux de synthèse ont été ajoutés lorsque c'était nécessaire.

Comme dans les documents officiels, la distinction est faite entre principes et règles d'application, c'est-à-dire que les principes sont repris de la même manière : « () P » signifie que les principes sont identifiés par le numéro du paragraphe suivi de la lettre P.

Enfin, dans les parties A et C de ce manuel, les restrictions suivantes ont été adoptées :

Partie A

Pour les actions du vent (EN 1991-1-4) :

La construction est supposée située sur terrain plat (effet d'orographie négligé) : $\Phi < 5\%$.

Dans ce cas, pour la pression dynamique de pointe, il convient d'utiliser $q_p(z) = c_e(z) \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2$ où $c_e(z)$ est obtenu par l'abaque de la figure 4.2.

Il est inutile de se préoccuper de la vitesse moyenne v_m et de la turbulence du vent $I_v(z)$ nécessaires pour pouvoir utiliser l'expression $q_p(z) = (1+7 \cdot I_v(z)) \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2$ tenant compte de l'orographie.

Les autres hypothèses sont supposées respectées :

- pas de construction avoisinante de grandes dimensions ;
 - pas de bâtiment, ni obstacles rapprochés ;
 - pas de transition entre catégories de rugosité ;
 - le bâtiment est à base rectangulaire et de hauteur inférieure à 15 m : coefficient structural $c_s \cdot c_d = 1$;
-

- il n'est pas nécessaire d'utiliser des coefficients de force (panneaux, éléments structuraux au vent, etc.) ;
- le bâtiment est insensible aux vents obliques (pas d'effet de torsion d'ensemble) ;
- la toiture est limitée aux types : terrasse, à un et deux versants, multiples ou en voûte ;
- la toiture et les murs peuvent être isolés.

Partie C

Les assemblages par boulons de catégorie **B** (glissement à l'ELS) ne sont pas traités.

Documents de référence

Partie A

Chapitre 1

NF EN 1990:2003 – *Eurocodes structuraux. Bases de calcul des structures*. AFNOR, mars 2003. **Indice de classement : P 06-100-1.**

NF EN 1990/NA:2007 – *Eurocodes structuraux. Bases de calcul des structures*. Annexe nationale à la NF EN 1990:2003. AFNOR, avril 2007. **Indice de classement : P 06-100-1/NA.**

Chapitre 2

NF EN 1991-1-1:2003 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments*. AFNOR, mars 2003. **Indice de classement : P 06-111-1.**

NF EN 1991-1-1/NA:2004 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments*. Annexe nationale à la NF EN 1991-1-1:2003. AFNOR, juin 2004. **Indice de classement : P 06-111-1/NA.**

Chapitre 3

NF EN 1991-1-3:2004 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige*. AFNOR, avril 2004. **Indice de classement : P 06-113-1.**

NF EN 1991-1-3/NA:2007 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige*. Annexe nationale à la NF EN 1991-1-3:2004. AFNOR, mai 2007. **Indice de classement : P 06-113-1/NA.**

NF EN 1991-1-3/NA/A1:2011 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige*. Annexe nationale à la NF EN 1991-1-3:2004. Amendement A1. AFNOR, juin 2011. **Indice de classement : P 06-113-1/NA/A1.**

Chapitre 4

NF EN 1991-1-4:2005 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent*. AFNOR, novembre 2005. **Indice de classement : P 06-114-1.**

NF EN 1991-1-4/NA:2008 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent. Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4:2005.* AFNOR, mars 2008. **Indice de classement : P 06-114-1/NA.**

NF EN 1991-1-4/NA/A1:2011 – *Eurocode 1 – Actions sur les structures. Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent. Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4:2005. Amendement A1.* AFNOR, juin 2011. **Indice de classement : P 06-114-1/NA/A1.**

Partie B

Chapitre 5

NF EN 1993-1-1:2005 – *Eurocode 3 – Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.* AFNOR, octobre 2005. **Indice de classement : P 22-311-1.**

NF EN 1993-1-1/NA:2007 – *Eurocode 3 – Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe nationale à la NF EN 1993-1-1:2005.* AFNOR, mai 2007. **Indice de classement : P 22-311-1/NA.**

Annexe 1

A. Bureau – « Classification des sections selon l'Eurocode 3. Tableau de classement des profilés laminés en I ». Revue *Construction métallique*, n°4-2005.

Annexe 3

ENV 1993-1-1 - Eurocode 3 et Document d'application nationale – *Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.* P 22-311-0, Eyrolles 1996.

Annexe 4

NF EN 1993-1-1/NA:2007 – *Eurocode 3 – Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe nationale à la NF EN 1993-1-1:2005.* AFNOR, mai 2007. **Indice de classement : P 22-311-1/NA.**

Partie C

Chapitre 6

NF EN 1993-1-8:2005 – *Eurocode 3 – Calcul des structures en acier. Partie 1-8 : Calcul des assemblages.* AFNOR, décembre 2005. **Indice de classement : P 22-318-1.**

NF EN 1993-1-8/NA:2007 – *Eurocode 3 – Calcul des structures en acier. Partie 1-8 : Calcul des assemblages. Annexe nationale à la NF EN 1993-1-8:2005.* AFNOR, juillet 2007. **Indice de classement : P 22-318-1/NA.**

Annexe 1

CNC2M – *Recommandations pour le dimensionnement des assemblages selon la norme NF EN 1993-1-8.* Recommandations de la CNC2M. BNCM / CNC2M – N0175, avril 2015.

Introduction

1. Objet des normes Eurocodes

Les Eurocodes sont des codes de conception et de calcul des ouvrages de génie civil élaborés au niveau européen. Ils sont destinés à se substituer aux textes nationaux à caractère normatif dans les différents pays de l'Union européenne. Ils sont appelés à devenir des normes de référence dans le cadre d'appels d'offres internationaux.

Leur élaboration résulte d'une harmonisation de haut niveau entre des démarches intellectuelles et des pratiques différentes ainsi que des résultats de recherches avancées.

L'objectif principal de l'instauration des Eurocodes est de permettre l'établissement d'un marché intérieur unique. La législation européenne comporte à cet effet deux types de directives :

- celles gouvernant la mise sur le marché des produits, imposant le rapprochement des réglementations nationales qui pourraient constituer un obstacle à la libre circulation des produits ;
- les directives visant les marchés publics de travaux et services (services d'architecture, d'ingénierie...), ayant pour objectif que les acheteurs et maîtres d'ouvrage publics ne contredisent pas cette notion de marché unique européen par des choix nationaux ou même locaux.

2. Historique et avenir des normes Eurocodes

- Le 18 avril 1951 fut signé le traité de Paris, donnant naissance à la Communauté économique du charbon et de l'acier (CECA). Les premières « euronormes » de produits sidérurgiques étaient publiées.
 - En mars 1957, la Communauté économique européenne (CEE), fille de la CECA, fut créée, avec pour objectif de favoriser la libre circulation des personnes et déjà des biens à l'intérieur de la communauté.
 - Le 26 juillet 1971 était publiée une directive de la CEE relative aux conditions d'appel à la concurrence pour les marchés publics de travaux. Elle interdisait la possibilité d'écarter une offre pour le motif qu'elle serait basée sur une méthode de calcul admise dans la
-

réglementation d'un autre pays. Dans les faits, c'était irréaliste et donc pratiquement inappliqué. La proposition française d'établir des règles de calcul communes fut acceptée ; la création d'Eurocodes destinés aux calculs des constructions fut décidée.

- En 1976, la Commission de l'Union européenne (CUE) crée un comité de pilotage composé de délégués issus des divers États membres et chargé de superviser le travail. Les travaux commencent dans le courant des années 1980.
- En 1990, les travaux de préparation des différents Eurocodes sont transférés au Comité européen de normalisation (CEN). Les Eurocodes sont d'abord établis en tant que normes provisoires (ENV) ; le statut de norme européenne ne peut être acquis que dans un délai théorique de trois à cinq ans, ce délai pouvant être allongé en cas de difficulté de mise au point du texte. La référence à une norme ENV, du fait de son statut de norme provisoire, ne pouvait se faire que si elle était publiée, pour chaque pays, accompagnée d'un document d'application national (DAN), lequel devait permettre le « lien » et la cohérence avec les textes normatifs nationaux, par exemple concernant les valeurs numériques et modèles des charges : neige, vent etc., alors que « les valeurs et modèles européens » n'avaient pas encore été établis.
- La conversion en normes EN des Eurocodes 1, 2, 3 et 4 débute en 1996. La publication des textes se fera à partir de l'année 2000. Les intitulés des normes sont les suivants :

EN 1990	Eurocode 0 :	Bases de calcul des structures.
EN 1991	Eurocode 1 :	Actions sur les structures.
EN 1992	Eurocode 2 :	Calcul des structures en béton.
EN 1993	Eurocode 3 :	Calcul des structures en acier.
EN 1994	Eurocode 4 :	Calcul des structures mixtes acier-béton.
EN 1995	Eurocode 5 :	Calcul des structures en bois.
EN 1996	Eurocode 6 :	Calcul des structures en maçonnerie.
EN 1997	Eurocode 7 :	Calcul géotechnique.
EN 1998	Eurocode 8 :	Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes
EN 1999	Eurocode 9 :	Calcul des structures en alliage d'aluminium.

Une maintenance régulière par des révisions périodiques est prévue tous les cinq ans environ. L'Association française de normalisation (AFNOR) fut chargée de la transposition des normes EN en normes françaises homologuées destinées à terme à se substituer aux textes actuellement en usage, tels que les normes NFP 22..., le DTU CM 66 et son additif de 1980, la N 84 pour les surcharges de neige, les NV 65 pour les surcharges de vent dans le domaine de la construction métallique.

Il était prévu qu'en 2010, les Eurocodes soient les seuls textes normatifs en vigueur au sein de l'Union européenne.

3. Principes de calcul et vérifications

Jusqu'au XIX^e siècle, toutes les constructions ont été conçues et exécutées en grande partie de manière empirique : la « sécurité » dépendait de l'expérience et de l'intuition des constructeurs. L'invention des profilés en acier et des ossatures métalliques entraîna la naissance de la résistance des matériaux. Le principe de sécurité adopté alors de s'assurer que la contrainte

maximale (σ_{\max}) dans la zone la plus critique de la construction restait inférieure à une contrainte dite admissible (σ_{adm}), la contrainte de rupture σ_r divisée par un coefficient de sécurité :

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_r}{k}$$

Les progrès essentiels durant des décennies consisteront à mieux évaluer les valeurs du coefficient de sécurité k .

L'idée qu'il est illusoire de « viser » la sécurité absolue conduit en 1948 messieurs Prot et Levi à envisager la sécurité sous un angle probabiliste. Un ouvrage serait ainsi réputé sûr si sa probabilité de ruine est inférieure à une valeur donnée, laquelle dépend de nombreux facteurs : durée de vie escomptée, conséquence de sa ruine, risques d'obsolescence, valeur de remplacement, coût d'entretien...

Mais la viabilité de cette approche nécessite d'abord une analyse complète de facteurs aléatoires d'insécurité d'origines diverses et pouvant se combiner entre eux :

- incertitudes sur la résistance des matériaux mis en œuvre ;
- incertitudes sur la dimension des ouvrages, donc les poids et les sections résistantes ;
- incertitudes sur la valeur des diverses actions appliquées ;
- incertitudes sur les efforts internes et les contraintes en raison des approximations admises pour leur calcul.

Seuls certains de ces facteurs sont « probabilisables », et donc aucune règle de distribution statistique ne semblait pouvoir être déduite.

Dans les années 1960, la poursuite de ces recherches sur la sécurité des constructions ainsi que celles menées dans le domaine de la plasticité et du calcul à la rupture ont permis de préciser les principes d'une analyse rationnelle de la sécurité des constructions basée sur les étapes suivantes :

- **définir les phénomènes (états limites) ou les situations que l'on veut éviter ;**
- **estimer la gravité des risques liés à ces phénomènes ;**
- **choisir pour la construction des dispositions telles que la probabilité liée à chacun de ces phénomènes reste suffisamment faible pour être admise.**

Dans l'approche probabiliste, la sécurité est introduite au moyen :

- des valeurs représentatives des diverses grandeurs telles qu'actions et résistances tenant compte des dispersions (tolérances) statistiques ou admises des produits ;
- de coefficients partiels de sécurité issus d'une pratique ou de probabilités.

Les états limites

Pour une structure soumise à un système de charges, si l'on accroît progressivement l'intensité de ce système, les effets cessent d'être complètement réversibles au-delà d'un certain seuil soit de façon rapidement apparente (par exemple fissuration ou plastification) soit progressivement apparente (fatigue). La structure perd de sa « valeur ».

Par cette « perte de valeur », la structure ne satisfait plus à certaines exigences structurelles ou fonctionnelles définies lors de son projet. Des états limites ont été atteints, classés en deux familles :

- **Les états limites ultimes (ELU)** : associés à une rupture entraînant l'effondrement total ou partiel de la structure et mettant en cause la sécurité des personnes. On peut distinguer les ELU :
 - d'équilibre statique ;
 - de résistance ;
 - de fatigue ;
 - de stabilité de forme.

On admet de ranger dans cette famille des états précédant de peu la rupture ou l'effondrement.

- **Les états limites de service (ELS)** : associés à des états de la structure ou de parties de celle-ci lui causant des dommages limités ou rendant son usage difficile ou impossible dans le cadre des exigences de fonctionnement, de confort pour les usagers, ou d'aspect. Leur dépassement une ou plusieurs fois entraîne des dommages matériels ou empêche des conditions normales d'exploitation sans risquer la ruine de la construction.

Liste des symboles

Symboles utilisés dans l'introduction et la partie A

Eurocode 0 (EN 1990)

Ψ_0	coefficient définissant la valeur de combinaison d'une action variable
Ψ_1	coefficient définissant la valeur fréquente d'une action variable
Ψ_2	coefficient définissant la valeur quasi permanente d'une action variable
$E_{d,dst}$	est la valeur de calcul de l'effet des actions déstabilisatrices
$E_{d,stb}$	est la valeur de calcul de l'effet des actions stabilisatrices
E_d	valeur de calcul de l'effet des actions (solicitation, contrainte...)
R_d	valeur de calcul de la résistance (les résistances de calcul sont définies dans l'EN 1993 pour les structures acier)
C_d	est la valeur limite de calcul du critère d'aptitude au service considéré
E_d	est la valeur de calcul des effets d'actions spécifiée dans le critère d'aptitude au service, déterminée sur la base de la combinaison appropriée
w_1	partie initiale de la flèche sous les charges permanentes de la combinaison d'actions correspondante selon les expressions 6.14a à 6.16b
w_3	partie additionnelle de la flèche due aux actions variables de la combinaison d'actions correspondante selon les expressions 6.14a à 6.16b
w_c	contre-flèche dans l'élément structural non chargé
G	charge permanente (<i>gravity</i>)
I	charge d'exploitation (<i>imposed</i>)
s	charge de neige (<i>snow</i>)
w	charge de vent (<i>wind</i>)

Eurocode 1

Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments (EN 1991-1-1)

Majuscules latines

A	aire chargée
A_0	aire de référence
Q_k	valeur caractéristique d'une charge concentrée variable

Minuscules latines

g_k	poids par unité de surface ou poids par unité de longueur
n	nombre d'étages
q_k	valeur d'une charge uniformément répartie ou d'une charge linéique

Minuscules grecques

α_A	coefficient de réduction
α_n	coefficient de réduction
γ	poids volumique apparent
ϕ	coefficient de majoration dynamique
Ψ_0	coefficient définissant la valeur de combinaison d'une action variable (EN 1990 : tableau A1.1)
Φ	angle de talus naturel (degrés)

Actions de la neige (EN 1991-1-3)

s_k	charge caractéristique de neige sur le sol à l'emplacement considéré (kN/m^2)
A	altitude du site, au-dessus du niveau de la mer, où la construction est prévue ou existe
s_{Ad}	charge exceptionnelle de neige au sol (cas noté S_A). Poids de la couche de neige au sol résultant d'une chute de neige dont la survenance est considérée comme exceptionnellement rare (et engendrant des situations de projet accidentelles)
s	charge de neige sur une toiture, qui s'obtient en appliquant à s_k et à s_{Ad} les coefficients multiplicateurs appropriés (kN/m^2)
Cas (i)	charge de neige sur la toiture en l'absence d'accumulation. Disposition de charge selon laquelle la charge de neige, parvenant uniformément répartie sur la toiture, dépend seulement de la forme de celle-ci, avant toute redistribution due à d'autres actions climatiques
Cas (ii) ou (iii)	charge de neige sur la toiture après redistribution ou accumulation. Disposition de charge décrivant la répartition de la charge de neige sur la toiture après une redistribution ou accumulation provoquée, par exemple, par le vent
μ	coefficient de forme pour la charge de neige sur la toiture. Rapport de la charge de neige sur la toiture à la charge de neige sur le sol avant accumulation et sans tenir compte de l'influence de l'exposition ni des effets thermiques