

5.5.1	<i>Bases</i> .....	132
5.5.2	<i>Classification</i> .....	132
<b>6.</b>	<b>États limites ultimes</b> .....	<b>136</b>
6.1	Généralités .....	136
6.2	Résistances des sections transversales .....	136
6.2.1	<i>Généralités</i> .....	136
6.2.2	<i>Propriétés des sections</i> .....	137
6.2.3	<i>Traction</i> .....	139
6.2.4	<i>Compression</i> .....	139
6.2.5	<i>Moment fléchissant</i> .....	139
6.2.6	<i>Cisaillement</i> .....	140
6.2.7	<i>Torsion</i> .....	142
6.2.8	<i>Flexion et cisaillement</i> .....	142
6.2.9	<i>Flexion et effort normal</i> .....	143
6.2.10	<i>Flexion, cisaillement et effort normal</i> .....	144
6.3	Résistance des barres aux instabilités .....	145
6.3.1	<i>Barres uniformes comprimées</i> .....	145
6.3.2	<i>Barres uniformes fléchies</i> .....	148
6.3.3	<i>Barres uniformes fléchies et comprimées</i> .....	150
<b>Annexe A (informative).</b>	<b>Méthode 1 : Facteurs d'interaction <math>k_{ij}</math> pour la formule d'interaction donnée en 6.3.3 (4)</b> .....	<b>152</b>
6.3.4	<i>Méthode générale de vérification du flambement latéral et du déversement de composants structuraux</i> .....	154
6.3.5	<i>Déversement des barres avec rotules plastiques</i> .....	154
6.4	Barres composées uniformes en compression .....	156
6.4.4	<i>Barres composées à membrures faiblement espacées</i> .....	156
<b>7.</b>	<b>États limites de service</b> .....	<b>157</b>
7.1	Généralités .....	157
7.2	États limites de service pour les bâtiments .....	158
7.2.1	<i>Flèches verticales</i> .....	158
7.2.2	<i>Flèches horizontales</i> .....	159
7.2.3	<i>Effets dynamiques</i> .....	161
<b>Annexe 1.</b>	<b>Classification des sections transversales des profilés laminés courants</b> .....	<b>163</b>
<b>Annexe 2.</b>	<b>Valeurs du coefficient de réduction <math>\chi</math> pour les cinq courbes de flambement</b> .....	<b>173</b>
<b>Annexe 3.</b>	<b>Détermination des longueurs de flambement <math>L_{cr}</math></b> .....	<b>179</b>
<b>Annexe E (informative).</b>	<b>Longueur de flambement d'un élément comprimé</b> .....	<b>180</b>
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.

Moment critique de déversement élastique .....	188
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

<b>3. Attaches par boulons ou axes d'articulation</b> .....	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
3.6 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 Traction et cisaillement combinés .....	221
3.9.3 Attaches hybrides .....	221
3.10 Déductions pour les trous de fixations .....	221
3.10.1 Généralités .....	221
3.10.2 Calcul du cisaillement de bloc .....	221
3.10.3 Cornières tendues attachées par une aile et autres barres tendues attachées de façon non symétrique .....	222
3.11 Effet de levier .....	223
3.12 Distribution des efforts entre fixations à l'état limite ultime .....	224
3.13 Attaches par axes d'articulation .....	225
3.13.1 Généralités .....	225
3.13.2 Calcul des axes d'articulation .....	226
<b>4. Attaches soudées</b> .....	227
4.1 Généralités .....	227
4.2 Produits d'apport de soudage .....	227
4.3 Géométrie et dimensions .....	228
4.3.1 Type de soudure .....	228
4.3.2 Soudures d'angle .....	228
4.3.4 Soudures bout à bout .....	229
4.5 Résistance de calcul d'une soudure d'angle .....	279
4.5.1 Longueur des soudures .....	229
4.5.2 Gorge utile .....	229
4.5.3 Résistance des soudures d'angle .....	230
4.7 Résistance de calcul des soudures bout à bout .....	231
4.7.1 Soudures bout à bout à pleine pénétration .....	231
4.7.3 Assemblages bout à bout en T .....	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
<b>5.</b>	<b>Analyse, classification et modélisation .....</b>	<b>237</b>
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
<b>6.</b>	<b>Assemblages structuraux de sections en I ou en H .....</b>	<b>240</b>
6.1	Généralités .....	240
6.1.1	<i>Bases</i> .....	240
6.1.3	<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
6.2.6	<i>Résistance des composants de base</i> .....	246
6.2.8	<i>Résistance des pieds de poteaux par plaque d'assise</i> .....	251
<b>7.</b>	<b>Assemblages de profils creux .....</b>	<b>252</b>
7.3	Soudures .....	252
7.3.1	<i>Résistance de calcul</i> .....	252

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 » remplace les anciens textes nationaux pour la construction métallique (CM 66 et additif 80). Cette norme est divisée 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, soit des extraits permettant de **traiter un projet de bâtiment simple**. En complément indispensable, ce manuel contient des extraits des **Eurocodes 0 et 1**, soit **les règles de base et le calcul des actions**, et notamment les éléments permettant de déterminer les actions de **neige** et de **vent** sur un bâtiment.

Principalement destiné aux élèves de **BTS Construction métallique**, aux étudiants en **IUT Génie civil**, aux élèves des **écoles d'ingénieurs du bâtiment** ainsi qu'à leurs **enseignants** respectifs, ce manuel procurera aussi à tous les **professionnels de la construction métallique** un appréciable guide d'application.

## 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 J.-P. Muzeau, professeur honoraire de Polytech'Clermont-Ferrand et président de l'APK, avec l'aide de M.-C. Ritter, responsable de l'APK à ConstruirAcier, et le concours de l'APK elle-même, **quatorze professeurs de lycées techniques de toute la France ont contribué à la rédaction de l'ouvrage** : R. Aguirre, P. Giro et E. Hadjadj, lycée Albert Claveille (Périgueux); Ph. Boineau, lycée Aristide Briand (Saint-Nazaire); B. Carton, lycée Monge (Chambéry); C. Dehlin, 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, lycée J. Lurçat (Martignes); G. Lerun, lycée Yves Thépot (Quimper); M. Plouviez, lycée Jean Prouvé (Lorient) 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, 472 pages

[www.editions-eyrolles.com](http://www.editions-eyrolles.com)  
Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif

[www.boutique-livres.afnor.org](http://www.boutique-livres.afnor.org)

31,50 €

Code Eyrolles : G13837  
ISBN Eyrolles : 978-2-712-13837-5  
Code Afnor : 3465438  
ISBN Afnor : 978-2-12-465438-3



Couverture : Christophe Picaut

COLLECTION  
EUROCODE

afnor  
EDITIONS

EYROLLES



**APK**  
Association pour le promotion  
de l'enseignement de la construction acier

sous la direction de Jean-Pierre Muzeau

# Manuel de construction métallique

Extraits des Eurocodes 0, 1 et 3



2<sup>e</sup> édition  
revue et mise à jour



**afnor**  
ÉDITIONS

**EYROLLES**

# 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 .....	21
Eurocode 1 .....	22
<i>Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments</i> <i>(EN 1991-1-1)</i> .....	21
<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

<b>CHAPITRE 1.</b> 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
<b>CHAPITRE 2. Actions générales.....</b>	<b>47</b>
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



<b>3. Situations de projet</b> .....	49
3.1 Généralités .....	49
3.2 Charges permanentes .....	49
3.3 Charges d'exploitation .....	49
3.3.1 <i>Généralités</i> .....	49
3.3.2 <i>Dispositions complémentaires pour les bâtiments</i> .....	50
<b>4. Poids volumiques des matériaux de construction et des produits stockés</b> .....	50
4.1 Généralités .....	50
<b>5. Poids propre des constructions</b> .....	50
5.1 Représentation des actions .....	50
5.2 Valeurs caractéristiques du poids propre .....	51
5.2.1 <i>Généralités</i> .....	51
5.2.2 <i>Dispositions complémentaires pour les bâtiments</i> .....	51
<b>6. Charges d'exploitation dans les bâtiments</b> .....	51
6.1 Représentation des actions .....	51
6.2 Dispositions des charges .....	52
6.2.1 <i>Planchers, poutres et toitures</i> .....	52
6.2.2 <i>Poteaux et murs</i> .....	52
6.3 Valeurs caractéristiques des charges d'exploitation .....	52
6.3.1 <i>Bâtiments résidentiels, sociaux, commerciaux ou administratifs</i> .....	52
6.3.2 <i>Aires de stockage et locaux industriels</i> .....	55
6.3.3 <i>Garages et aires de circulation accessibles aux véhicules</i> .....	55
6.3.4 <i>Toitures</i> .....	55
6.4 Charges horizontales sur les garde-corps et les murs de séparation .....	56
<b>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</b> .....	57
 <b>CHAPITRE 3. Actions de la neige sur les structures</b> .....	 61
<b>1. Généralités</b> .....	61
1.1 Domaine d'application .....	61
1.6 Termes et définitions .....	61
1.7 Symboles et abréviations .....	61
<b>2. Classification des actions de la neige</b> .....	62
<b>3. Situations de projet</b> .....	62
<b>4. Charges de neige sur le sol</b> .....	62

4.1	Valeurs caractéristiques .....	62
4.2	Autres valeurs représentatives .....	63
<b>5.</b>	<b>Charges de neige sur les toitures .....</b>	<b>66</b>
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	<i>Généralités</i> .....	68
5.3.2	<i>Toitures à un seul versant</i> .....	68
5.3.3	<i>Toitures à deux versants</i> .....	68
5.3.4	<i>Toitures à versants multiples</i> .....	69
5.3.5	<i>Toitures cylindriques</i> .....	70
5.3.6	<i>Toitures attenant à des constructions plus élevées ou très proches d'elles</i> .....	71
<b>6.</b>	<b>Effets locaux .....</b>	<b>72</b>
6.1	Généralités .....	72
6.2	Accumulation au droit de saillies et d'obstacles .....	72
<b>CHAPITRE 4. Actions du vent sur les structures .....</b>		<b>75</b>
<b>1.</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>75</b>
<b>3.</b>	<b>Modélisation des actions du vent .....</b>	<b>75</b>
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
<b>4.</b>	<b>Vitesse du vent et pression dynamique .....</b>	<b>76</b>
4.1	Base de calcul .....	76
4.2	Valeurs de référence .....	77
4.3	Vent moyen .....	77
4.3.1	<i>Variation avec la hauteur</i> .....	77
4.3.2	<i>Rugosité du terrain</i> .....	78
4.5	Pression dynamique de pointe .....	79
<b>5.</b>	<b>Actions du vent .....</b>	<b>80</b>
5.1	Généralités .....	80
5.2	Pression aérodynamique sur les surfaces .....	80
5.3	Forces exercées par le vent .....	81
<b>7.</b>	<b>Coefficients de pression et de force .....</b>	<b>82</b>
7.1	Généralités .....	82

7.1.1	<i>Choix du coefficient aérodynamique</i> .....	82
7.2	Coefficients de pression pour les bâtiments .....	83
7.2.1	<i>Généralités</i> .....	83
7.2.2	<i>Murs verticaux des bâtiments à plan rectangulaire</i> .....	84
7.2.3	<i>Toitures-terrasses</i> .....	87
7.2.4	<i>Toitures à un seul versant</i> .....	88
7.2.5	<i>Toitures à deux versants</i> .....	90
7.2.7	<i>Toitures multiples (shed)</i> .....	93
7.2.8	<i>Toitures en voûte</i> .....	94
7.2.9	<i>Pression intérieure</i> .....	95
7.3	Toitures isolées .....	97
7.4	Murs isolés, acrotères, clôtures et panneaux de signalisation .....	103
7.4.1	<i>Murs isolés et acrotères</i> .....	103
7.5	Coefficients de frottement .....	104
Annexe 2. Lecture simplifiée de l'article 7.2.9 : « Pression intérieure » .....		110

## PARTIE B

### EUROCODE 3 – Calcul des structures en acier

<b>CHAPITRE 5.</b>	<b>Règles générales et règles pour les bâtiments</b> .....	<b>115</b>
1.	<b>Généralités</b> .....	<b>115</b>
1.1	Domaine d'application .....	115
1.1.1	<i>Domaine d'application de l'Eurocode 3</i> .....	115
1.1.2	<i>Domaine d'application de la partie 1-1</i> .....	115
1.2	Références normatives .....	116
1.2.1	<i>Normes de référence générales</i> .....	116
1.2.2	<i>Normes de référence pour l'acier de construction soudable</i> .....	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.	<b>Bases de calcul</b> .....	<b>119</b>
2.1	Exigences .....	119
2.1.1	<i>Exigences fondamentales</i> .....	119
2.1.2	<i>Gestion de la fiabilité</i> .....	119
2.1.3	<i>Durée de vie de calcul, durabilité et robustesse</i> .....	119
2.2	Principes de calcul aux états limites .....	119

2.3	Variables de base .....	119
2.3.1	<i>Actions et influences de l'environnement</i> .....	119
2.3.2	<i>Propriétés des matériaux et produits</i> .....	119
2.4	Vérification par la méthode des coefficients partiels .....	120
2.4.1	<i>Valeurs de calcul des propriétés des matériaux</i> .....	120
2.4.2	<i>Valeurs de calcul des données géométriques</i> .....	120
2.4.3	<i>Résistances de calcul</i> .....	120
2.4.4	<i>Vérification de l'équilibre statique</i> .....	120
2.5	Calcul assisté par des essais .....	120
<b>3.</b>	<b>Matériaux</b> .....	121
3.1	Généralités .....	121
3.2	Acier de construction .....	121
3.2.1	<i>Propriétés des matériaux</i> .....	121
3.2.2	<i>Exigences de ductilité</i> .....	122
3.2.3	<i>Ténacité à la rupture</i> .....	122
3.2.4	<i>Propriétés dans le sens de l'épaisseur</i> .....	123
3.2.5	<i>Tolérances</i> .....	123
3.2.6	<i>Valeurs de calcul des propriétés de matériau</i> .....	123
3.3	Dispositifs d'assemblage .....	123
3.3.1	<i>Fixations</i> .....	123
3.3.2	<i>Produits d'apport de soudage</i> .....	123
3.4	Autres produits préfabriqués utilisés dans les bâtiments .....	124
<b>4.</b>	<b>Durabilité</b> .....	124
<b>5.</b>	<b>Analyse structurale</b> .....	124
5.1	Modélisation structurale en vue de l'analyse .....	124
5.1.1	<i>Modélisation structurale et hypothèses fondamentales</i> .....	124
5.1.2	<i>Modélisation des assemblages</i> .....	124
5.1.3	<i>Interaction sol-structure</i> .....	124
5.2	Analyse globale .....	125
5.2.1	<i>Effets de la déformation géométrique de la structure</i> .....	125
5.2.1	<i>Stabilité structurale des ossatures</i> .....	126
5.3	Imperfections .....	128
5.3.1	<i>Bases</i> .....	128
5.3.2	<i>Imperfections pour l'analyse globale des ossatures</i> .....	128
5.3.2	<i>Imperfections pour l'analyse des systèmes de contreventement</i> .....	129
5.3.3	<i>Imperfections des éléments</i> .....	131
5.4	Méthodes d'analyse prenant en compte les non-linéarités de comportement du matériau .....	131
5.4.1	<i>Généralités</i> .....	131
5.4.2	<i>Analyse globale élastique</i> .....	131
5.4.3	<i>Analyse globale plastique</i> .....	131
5.5	Classification des sections transversales .....	132