



APK
Association pour la 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^e édition
revue et mise à jour



afnor
ÉDITIONS

EYROLLES

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 haut en bas et de gauche à droite :

- Gare d'Orléans ; architectes : Jean-Marie Duthilleul, François Bonnefille et Étienne Tricaut. Photo © Jean-Pierre Muzeau. Constructeur métallique : ACML (groupe Fayat).
- Complexe aquatique Odysée, Chartres ; architecte : Jean-François Plaze. Photo © Jean-Pierre Muzeau. Constructeur métallique : Renaudat Centre Constructions.
- Vendspace, Moulleron-le-Captif ; architectes : Paul Chemetov et Roulleau Architecture. Photo © ConstruireAcier. Constructeur métallique : groupe Briand.
- Palais omnisports de Paris-Bercy ; architectes : Michel Andrault, Pierre Parat et Aydin Guvan. Photo © ConstruireAcier.
- Gare de Lyon (Paris) ; architectes : Jean-Marie Duthilleul et François Bonnefille. Photo © ConstruireAcier. Constructeur métallique : Gagne.
- Musée de la Grande Guerre, Meaux ; architecte : Christophe Lab. Photo © ConstruireAcier. Constructeur métallique : CM Paimbœuf (groupe Fayat).



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 notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

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

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 <i>Généralités</i>	49
3.3.2 <i>Dispositions complémentaires pour les bâtiments</i>	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 <i>Généralités</i>	51
5.2.2 <i>Dispositions complémentaires pour les bâtiments</i>	51
6. Charges d'exploitation dans les bâtiments	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
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
1.6 Termes et définitions	61
1.7 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	<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
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
4.3	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
5.	Actions du vent	80
5.1	Généralités	80
5.2	Pression aérodynamique sur les surfaces	80
5.3	Forces exercées par le vent	81
7.	Coefficients de pression et de force	82
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

CHAPITRE 5.	Règles générales et règles pour les bâtiments	115
1.	Généralités	115
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.	Bases de calcul	119
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
3.	Matériaux	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
4.	Durabilité	124
5.	Analyse structurale	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

5.5.1	<i>Bases</i>	132
5.5.2	<i>Classification</i>	132
6.	États limites ultimes	136
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
Annexe A (informative).	Méthode 1 : Facteurs d'interaction k_{ij} pour la formule d'interaction donnée en 6.3.3 (4)	152
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
7.	États limites de service	157
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
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.	Détermination des longueurs de flambement L_{cr}	179
Annexe E (informative).	Longueur de flambement d'un élément comprimé	180
E.1	<i>Bases</i>	180
E.2	<i>Poteaux d'ossatures de bâtiment</i>	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

3. Attaches par boulons ou axes d'articulation	210
3.1 Boulons, vis, écrous et rondelles	210
3.1.1 <i>Généralités</i>	210
3.1.2 <i>Boulons précontraints</i>	211
3.3 Boulons d'ancrage	211
3.4 Catégories d'attaches boulonnées	212
3.4.1 <i>Attaches en cisaillement</i>	212
3.4.2 <i>Attaches tendues</i>	212
3.5 Positionnement des trous de boulons et de rivets	213
3.6 Résistance individuelle de calcul des fixations	216
3.6.1 <i>Boulons</i>	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 <i>Résistance au glissement</i>	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	224
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>	226
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
4.3.4 <i>Soudures bout à bout</i>	229
4.5 Résistance de calcul d'une soudure d'angle	279
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
6.1.3	<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
7.	Assemblages de profils creux	252
7.3	Soudures	252
7.3.1	<i>Résistance de calcul</i>	252