



APK
Association pour le
Projet de la
Construction et le
Développement

sous la direction de Jean-Pierre Muzeau

La construction métallique avec les Eurocodes

Interprétation
Exemples de calcul

2^e édition

afnor
EDITIONS

Éditions
EYROLLES



sous la direction de Jean-Pierre Muzeau

La construction métallique avec les Eurocodes

Interprétation et exemples de calcul

2^e édition

● Éditions
EYROLLES

afnor
EDITIONS

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

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

- Musée Lyon Confluence ; architectes : Coop Himmelb(l)au, Photo © Jean-Pierre Muzeau.
Constructeur métallique : SMB et Renaudat Centre Construction.
- Stade Pierre Mauroy (Villeneuve d'Ascq) ; architectes : Valode & Pistre, P. Ferret.
Photo © Jean-Pierre Muzeau. Constructeur métallique : Eiffage Construction Métallique.
- Terminal ferroviaire des Halles de Rungis ; architectes : AREP Photo © Jean-Pierre Muzeau.
Constructeur métallique : Viry S.A.S. (Groupe Fayat).
- Parking Toulouse Blagnac ; architectes : François Gillard (SCAU) et Pierre Azéma.
Photo © Jean-Pierre Muzeau. Constructeur métallique : Castel et Fromaget (groupe Fayat).
- Pôle de loisirs et de commerces Lyon Confluence ; architecte : J.-P. Viguier, CBA.
Photo © Jean-Pierre Muzeau. Constructeur métallique : Eiffage Construction Métallique & SMB.

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.

© Afnor et Groupe Eyrolles, 2014
ISBN Afnor : 978-2-12-465439-0
ISBN Eyrolles : 978-2-212-13838-2

Table des matières

Avant-propos	XV
Introduction	1
1 Historique des Eurocodes	2
2 Contenu de l'ouvrage	3
3 Références bibliographiques générales	4
CHAPITRE 1 Lexique et symboles utilisés	7
1.1 Lexique français-anglais	8
1.1.1 Termes concernant les charges	8
1.1.2 Termes concernant les états limites	8
1.1.3 Termes concernant les sections transversales	8
1.1.4 Termes relatifs aux aspects structuraux	9
1.1.5 Termes relatifs aux assemblages	10
1.1.6 Axes de référence	10
1.2 Liste des symboles utilisés dans les Eurocodes	10
1.2.1 EN 1990 ou Eurocode 0	10
1.2.2 EN 1991 ou Eurocode 1	11
1.2.3 EN 1993 ou Eurocode 3	15
1.3 Références bibliographiques	20
CHAPITRE 2 Eurocode 0 : bases de calculs	23
2.1 Principes de vérification – États limites	24
2.1.1 États limites ultimes (ELU)	24
2.1.2 États limites de service (ELS)	24
2.2 Actions sur les structures	25
2.2.1 Valeurs caractéristiques des actions	25
2.2.2 Valeurs représentatives des actions variables	25
2.2.3 Valeurs de calcul des actions	26
2.3 Caractéristiques des matériaux	26
2.4 Calcul des structures	26
2.5 Combinaisons d'actions	26
2.6 Références bibliographiques	29

CHAPITRE 3	Eurocode 1 : actions sur les structures	31
3.1	Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments	32
3.1.1	Poids propres, poids volumiques	32
3.1.2	Charges d'exploitation	33
3.2	Action de la neige	37
3.2.1	Action de la neige sur la toiture d'une construction	37
3.2.2	Charge de neige sur le sol	38
3.2.3	Coefficients de forme pour les toitures	40
3.2.4	Effets locaux	43
3.2.5	Exemple d'application	44
3.3	Action du vent sur les constructions	47
3.3.1	Action du vent sur les parois d'une construction	47
3.3.2	Pression dynamique de pointe	49
3.3.3	Coefficients de pression pour les bâtiments	53
3.3.4	Toitures isolées	69
3.3.5	Forces de frottement	76
3.4	Référence bibliographique	78
CHAPITRE 4	Descente de charges	79
4.1	Surface d'influence	80
4.2	Coefficients de continuité	81
4.3	Cas des pannes de couverture	82
4.3.1	Calcul des charges linéiques	82
4.3.2	Exemple	82
4.4	Descente de charges sur les portiques de bâtiment	85
4.4.1	Calcul des charges linéiques	85
4.4.2	Exemple d'application	85
4.5	Références bibliographiques	87
CHAPITRE 5	Matériaux et produits sidérurgiques disponibles	89
5.1	Les aciers	90
5.1.1	Les aciers de construction	90
5.1.2	Désignation des aciers	91
5.1.3	Caractéristiques mécaniques des aciers principaux	91
5.1.4	Les aciers inoxydables	92
5.2	Les principaux produits sidérurgiques disponibles	93
5.2.1	Les produits laminés à chaud	93
5.2.2	Les produits formés à froid	95

5.2.3	Les produits tubulaires	96
5.2.4	Les produits composés	97
5.3	Références bibliographiques	98
CHAPITRE 6	Analyse globale et classification des structures	99
6.1	Introduction	100
6.2	Bases de l'analyse structurale	100
6.2.1	Analyse au premier ordre	101
6.2.2	Analyse au second ordre	101
6.2.3	Équivalence	101
6.2.4	Coefficient d'éloignement de l'instabilité élastique	102
6.2.5	Coefficient d'amplification	104
6.2.6	Coefficient d'éloignement	104
6.3	Prise en compte des imperfections dans les structures	107
6.3.1	Imperfections globales	107
6.3.2	Imperfection locale	109
6.4	Conséquences sur l'analyse globale et la vérification : classement de la structure	111
6.4.1	Cas de l'ossature rigide	111
6.4.2	Cas de l'ossature souple	111
6.5	Imperfections et systèmes de contreventement	116
6.6	Exemples d'application	118
6.6.1	Premier exemple : défaut d'aplomb	118
6.6.2	Deuxième exemple : classification d'une structure à un niveau à l'aide du critère approché	120
6.6.3	Troisième exemple : classification d'une stabilité de long pan	124
6.6.4	Quatrième exemple : classification d'une structure à un niveau en utilisant le critère de base $\alpha_{cr} = F_{cr}/F_{Ed}$	125
6.6.5	Cinquième exemple : classification d'une structure à deux niveaux	128
6.7	Références bibliographiques	136
CHAPITRE 7	Classification des sections transversales	137
7.1	Influence du voilement local sur la résistance des sections	138
7.2	Définition des classes de sections transversales	138
7.3	Résistance d'une paroi au voilement local	139
7.4	Principes de classification	142
7.5	Classification des âmes en flexion composée	142
7.5.1	Âmes de Classe 1 ou 2 en flexion composée	143
7.5.2	Âmes de Classe 3 ou 4 en flexion composée	143
7.5.3	Exemple d'application	144

7.6	Propriétés efficaces des sections de Classe 4	146
7.6.1	Principes de calcul des propriétés efficaces des sections de Classe 4	146
7.6.2	Exemple d'application	149
7.7	Tableaux de classification de l'Eurocode 3	155
7.8	Références bibliographiques	159
	Annexe : Classes des sections transversales des profilés courants du commerce	160
CHAPITRE 8	Résistance des sections	163
8.1	Généralités	164
8.2	Traction	165
8.2.1	Vérification	165
8.2.2	Comportement plastique	166
8.2.3	Définitions des aires brutes et nettes	167
8.2.4	Organigramme de vérification des sections en traction	168
8.2.5	Applications	168
8.3	Compression	174
8.3.1	Vérification	174
8.3.2	Organigramme de vérification des sections en compression	175
8.4	Flexion uni-axiale ou flexion simple	175
8.4.1	Vérification sous moment fléchissant seul	176
8.4.2	Vérification sous effort tranchant seul	178
8.4.3	Vérification sous moment et effort tranchant combinés	182
8.4.4	Exemple	182
8.5	Flexion bi-axiale ou flexion déviée	190
8.5.1	Vérification	190
8.5.2	Application	191
8.6	Flexion et effort normal	192
8.6.1	Sections transversales de Classes 1 et 2	192
8.6.2	Sections transversales de Classes 3 et 4	195
8.6.3	Organigramme de vérification des sections en flexion composée	196
8.6.4	Exemple	197
8.7	Flexion, cisaillement et effort normal	199
8.7.1	Vérification	199
8.7.2	Organigramme de vérification des sections en flexion composée avec interaction de cisaillement	200
8.8	Torsion	201
8.9	Références bibliographiques	202

CHAPITRE 9	Résistance des barres	203
9.1	Barres uniformes comprimées	204
9.1.1	Généralités sur le flambement par flexion	204
9.1.2	Vérification des barres au flambement par flexion	207
9.1.3	Flambement par torsion ou par flexion-torsion	217
9.1.4	Exemples de vérifications au flambement par flexion des structures planes	219
9.2	Barres uniformes fléchies	237
9.2.1	Introduction	237
9.2.2	Résistance au déversement suivant l'Eurocode 3	239
9.3	Barres uniformes fléchies et comprimées	260
9.3.1	Introduction	260
9.3.2	Résistance à la flexion composée déviée suivant l'Eurocode 3	260
9.4	Le voilement des âmes	279
9.4.1	Différents types de voilement de l'âme	280
9.4.2	Technologie	283
9.4.3	Voilement d'âme par cisaillement – Approche et vérification	287
9.4.4	Voilement induit par les semelles	308
9.4.5	Voilement sous force locale	309
9.5	Références bibliographiques	309
Annexe 9.1	Valeurs tabulées des cinq courbes de flambement	311
Annexe 9.2	Abaques de Wood [7] et détermination du rapport L_{cr}/L	317
Annexe 9.3	Coefficients C_1 et C_2 pour le déversement	321
CHAPITRE 10	ELS : états limites de service	329
10.1	Les états limites de service	330
10.2	Barres tendues	330
10.3	Poteaux et barres comprimées	330
10.4	Poutres	330
10.4.1	Poutres à âme pleine	330
10.4.2	Poutres en treillis	332
10.5	Poteaux en flexion composée	333
10.5.1	Flèches horizontales	333
10.5.2	Exemple	335
10.6	Références bibliographiques	337

CHAPITRE 11 Assemblages simples	339
11.1 Introduction	340
11.2 Les assemblages boulonnés	341
11.2.1 Classification des assemblages boulonnés selon l'Eurocode 3	341
11.2.2 Résistance des pièces assemblées	342
11.2.3 Résistance des boulons	345
11.2.4 Dispositions constructives	351
11.2.5 Information complémentaire concernant le calcul de $F_{r,Ed}$	352
11.2.6 Récapitulatif des vérifications à effectuer	352
11.2.7 Premier exemple : attache d'une cornière de stabilité	353
11.2.8 Deuxième exemple : attache poutre-poteau	357
11.2.9 Troisième exemple : attache d'une suspente sur une traverse	366
11.2.10 Quatrième exemple : assemblage de continuité	369
11.3 Assemblages soudés	375
11.3.1 Règles	375
11.3.2 Cadre de ce chapitre	375
11.3.3 Soudures d'angle : définitions et hypothèses	376
11.3.4 Soudures d'angle : les deux méthodes de l'Eurocode 3	377
11.3.5 Applications lorsque le vecteur-contrainte est constant	379
11.3.6 Cordons à pleine résistance	383
11.3.7 Applications supposant une répartition élastique du vecteur-contrainte	385
11.3.8 Autres applications en construction métallique	386
11.3.9 Exemples	388
11.4 Assemblages par axe d'articulation	398
11.4.1 Assemblage à vérifier	398
11.4.2 Sollicitations	398
11.4.3 Vérification de l'assemblage	398
11.5 Références bibliographiques	399
CHAPITRE 12 Assemblages structuraux : assemblages par platine d'about	401
12.1 Généralités	402
12.1.1 Configurations d'assemblages	403
12.1.2 Renforcement des assemblages	404
12.2 Modélisation et comportement des assemblages	405
12.2.1 Classification des assemblages	405
12.2.2 Fonctionnement mécanique d'un assemblage	406
12.2.3 Assemblages dans l'analyse globale de structure	409

12.3 Assemblages poteau-poutre selon l'Eurocode 3	411
12.3.1 Principe général de la méthode des composantes	412
12.3.2 Calcul des caractéristiques mécaniques des assemblages	414
12.3.3 Comportement de la zone tendue (tronçon en té)	418
12.3.4 Identification de la loi moment-rotation par d'autres moyens	426
12.4 Exemples d'analyse globale de structures	428
12.4.1 Poutre avec liaisons semi-rigides	428
12.4.2 Portique avec deux assemblages semi-rigides	430
12.5 Exemple de calcul de tronçon en té	431
12.5.1 Calcul de résistance des tronçons en té	431
12.5.2 Calcul de rigidité	435
12.6 Exemple de calcul d'assemblage poteau-poutre	436
12.6.1 Caractéristiques des éléments assemblés	436
12.6.2 Résistance de l'assemblage	437
12.6.3 Rigidité de l'assemblage	447
12.7 Références bibliographiques	449
Annexe : Longueurs efficaces (semelle du poteau et platine d'about)	451

Avant-propos

Cet ouvrage, concernant le calcul des bâtiments en acier au sens des Eurocodes, provient du travail engagé par plusieurs membres de *l'Association pour la Promotion de l'Enseignement de la Construction Acier* (APK) étroitement associés à **ConstruireAcier**.

Il vient compléter un premier document intitulé « Manuel de Construction Métallique. Extrait des Eurocodes » et publié conjointement par Eyrolles et AFNOR en 2012 dans la même collection.

Le premier ouvrage ne contient qu'un extrait des « Eurocodes ». Il est destiné à permettre à des élèves et des étudiants en cours d'études, ainsi qu'à leurs enseignants, de posséder un minimum d'informations réglementaires pour pouvoir calculer des bâtiments simples en acier. Il permet également à tout professionnel, non encore familiarisé avec les Eurocodes, de pouvoir appréhender leur utilisation au travers d'un guide succinct lui donnant les références des paragraphes clés pour aborder plus facilement ce vaste corpus de normes que sont les règles européennes de construction. De manière volontaire et afin de bien distinguer les normes de leur utilisation, le premier ouvrage ne contient aucune explication, ni aucun exemple. C'est donc uniquement un extrait succinct des normes. **En d'autres termes, il n'est nullement destiné à remplacer, même partiellement, les documents officiels beaucoup plus complets disponibles auprès de l'AFNOR.** Mais, pour rendre plus simple 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.

Il était évidemment nécessaire de compléter ce manuel par un autre, plus didactique. C'est pourquoi, en s'appuyant sur un groupe d'auteurs non plus issu seulement des classes de BTS Construction Métallique, mais élargi également aux formations d'IUT et d'écoles d'ingénieurs, il est apparu indispensable de rédiger le présent ouvrage à vocation beaucoup plus pédagogique et utilisable à tous les niveaux de formation ou d'apprentissage.

Ce second ouvrage s'adresse aux élèves, aux étudiants, aux enseignants et aux professionnels de la construction métallique. Il concerne tout nouvel utilisateur des Eurocodes en restant toutefois limité **aux vérifications les plus couramment rencontrées pour les structures de bâtiments industriels simples en acier** mais il intègre des éléments importants concernant les règles de base des Eurocodes (EN 1990) et d'autres relatifs aux actions : actions générales (EN 1991-1-1), aux actions de la neige (EN 1991-1-3) et aux actions du vent (EN 1991-1-4).

Il contient des explications sur la formulation des expressions de calcul contenues dans les Eurocodes complétées par des organigrammes donnant une réelle lisibilité aux démarches de

vérification, par des tableaux et des abaques de dimensionnement, et surtout par des exemples de calcul, le tout étant destiné à permettre au lecteur de circuler le plus facilement possible dans les différentes Clauses des diverses normes.

Ce nouveau manuel 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 des professionnels désireux de se familiariser avec l'utilisation des Eurocodes.

Cet ouvrage collectif a été rédigé par un groupe d'enseignants, membres de l'APK, sous la direction de **Jean-Pierre Muzeau**, président de l'association, et avec l'aide efficace de **Marie-Christine Ritter**, responsable de l'APK à ConstruireAcier.

Les enseignants qui ont contribué à la rédaction de l'ouvrage sont les suivants :

- **Raoul Aguirre**, lycée Albert Claveille (Périgueux),
- **Julien Averseng**, IUT (Nîmes),
- **Philippe Boineau**, lycée Aristide Briand (Saint-Nazaire),
- **Frédéric Bos**, IUT (Bordeaux),
- **Abdelhamid Bouchaïr**, Polytech (Clermont-Ferrand),
- **Bernard Carton**, lycée Monge (Chambéry),
- **Alain Cointe**, IUT (Bordeaux),
- **Jean-Luc Coureau**, INRA (Bordeaux),
- **Christophe Dehlinger**, lycée Stanislas (Wissembourg),
- **Jean-François Ferrier**, lycée Frédéric Faÿs (Villeurbanne),
- **Eric Fournely**, Polytech (Clermont-Ferrand),
- **Patrick Giroit**, lycée Albert Claveille (Périgueux),
- **Stéphane Guillon**, lycée La Mache (Lyon),
- **Jacques Harduin**, lycée Jean Lurçat (Martigues),
- **Frédéric Horgues**, lycée Aristide Briand (Saint-Nazaire),
- **Antoine Kohler**, lycée Stanislas (Wissembourg),
- **Alain Lachal**, INSA (Rennes),
- **Jean-Pierre Muzeau**, Polytech et ENSA (Clermont-Ferrand),
- **Joseph Noc**, lycée La Mache (Lyon),
- **Michel Plouviez**, lycée Jean Prouvé (Lomme),
- **Joëlle Pontet**, ArcelorMittal (Isbergues)

Qu'ils soient remerciés très sincèrement pour ce travail important, exigeant et difficile, d'explication et d'interprétation des documents normatifs relatifs à la Construction Métallique. Notons également que c'est **Yvan Delos** qui a assuré la relecture de l'ouvrage pour lui donner toute la cohérence nécessaire. A lui aussi un grand merci, la tâche était énorme.

Remercions enfin très chaleureusement **André Montès**, Inspecteur Général de l'Éducation Nationale, et **Joëlle Pontet**, directrice de l'OTUA (aujourd'hui ConstruireAcier) qui, avec l'APK, ont initié ce projet à vocation pédagogique et ont rendu possible sa réalisation.

Jean-Pierre MUZEAU

Président de l'APK