

Traité de Génie civil

de l'Ecole polytechnique fédérale de lausanne
Volume 10

CONSTRUCTION METALIQUE

Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement

Manfred A. Hirt
Rolf Bez

Presses polytechniques et universitaires romandes

4.5.2	Torsion uniforme.....	109
4.5.3	Torsion non uniforme	118
4.5.4	Torsion mixte	124
4.6	Résistance sous interaction d'efforts.....	126
4.6.1	Principes	126
4.6.2	Moment de flexion et effort normal	127
4.6.3	Moment de flexion et effort tranchant.....	133
4.6.4	Effort normal et effort tranchant.....	137
4.6.5	Moment de flexion, effort normal et effort tranchant.....	139
4.6.6	Interaction avec un moment de torsion	139
4.7	Section mixte acier-béton.....	144
4.7.1	Définitions.....	144
4.7.2	Principes	145
4.7.3	Résistance à un effort normal	149
4.7.4	Résistance à un moment de flexion.....	154
4.7.5	Résistance à un effort tranchant	167
4.7.6	Résistance sous interaction d'efforts	167
5.	Éléments fléchis.....	169
5.1	Introduction.....	171
5.2	Principes de dimensionnement.....	172
5.2.1	Aptitude au service	172
5.2.2	Sécurité structurale.....	175
5.2.3	Sécurité à la fatigue	179
5.3	Profilés laminés	179
5.3.1	Domaine d'application	179
5.3.2	Dimensionnement.....	180
5.4	Profilés avec semelles de renfort	183
5.4.1	Domaine d'application	183
5.4.2	Dimensionnement de la semelle de renfort.....	183
5.4.3	Longueur de la semelle de renfort.....	184
5.5	Poutres composées à âme pleine.....	186
5.5.1	Domaines d'application et fabrication.....	186
5.5.2	Principes de dimensionnement	188
5.5.3	Dimensionnement de la liaison entre l'âme et les semelles	189
5.6	Poutres ajourées.....	192
5.6.1	Domaines d'application et fabrication.....	192
5.6.2	Calcul des efforts intérieurs.....	193
5.6.3	Dimensionnement d'une poutre ajourée alvéolaire.....	195
5.6.4	Dimensionnement d'une poutre ajourée cellulaire.....	198
5.7	Poutres à treillis	202
5.7.1	Domaines d'application et fabrication.....	202
5.7.2	Hypothèses de calcul	203
5.7.3	Prédimensionnement	204
5.7.4	Longueur de flambage des barres comprimées	205
5.8	Poutres mixtes acier-béton	208
5.8.1	Introduction	208
5.8.2	Largeur participante du béton.....	209

5.8.3	Situations à considérer	211
5.8.4	Dimensionnement d'une poutre mixte.....	212
5.8.5	Effet du retrait.....	215
5.8.6	Calcul de la connexion.....	217
5.9	Éléments à parois minces	225
5.9.1	Domaines d'application et fabrication.....	225
5.9.2	Dimensionnement.....	227
6.	Éléments comprimés.....	229
6.1	Introduction.....	231
6.2	Principes de dimensionnement.....	231
6.2.1	Rappel de la théorie du flambage.....	231
6.2.2	Sécurité structurale.....	236
6.2.3	Aptitude au service	237
6.3	Profilés laminés	237
6.3.1	Effort normal.....	238
6.3.2	Effort normal et moment de flexion selon l'axe fort	240
6.3.3	Effort normal et moment de flexion selon l'axe faible.....	251
6.3.4	Effort normal et flexion gauche.....	252
6.3.5	Flambage par flexion et torsion.....	253
6.4	Barres étrépillonnées	256
6.4.1	Principes de dimensionnement	256
6.4.2	Ensemble de la barre.....	258
6.4.3	Membrures	259
6.4.4	Etrépillons.....	262
6.5	Poteaux mixtes.....	265
6.5.1	Hypothèses de base.....	265
6.5.2	Effort normal.....	267
6.5.3	Effort normal et flexion uniaxiale	270
6.5.4	Effort normal et flexion gauche.....	275
6.6	Éléments à parois minces	276
6.6.1	Introduction	276
6.6.2	Voilement local	276
6.6.3	Effort normal	277
6.6.4	Effort normal et flexion uniaxiale	278

DIMENSIONNEMENT D'ASSEMBLAGES

7.	Soudures	281
7.1	Introduction.....	283
7.2	Principes de dimensionnement.....	284
7.2.1	Sécurité structurale.....	284
7.2.2	Résistance à la fatigue	284
7.2.3	Rupture fragile	285
7.2.4	Assurance de qualité	285

Table des matières

AVANT-PROPOS	V
TABLE DES MATIÈRES	VII

PRINCIPES DE BASE

1. Introduction.....	1
1.1 Objectifs de l'ouvrage	3
1.2 Structuration et contenu.....	3
1.3 Documents de référence	4
1.4 Conventions	5
1.4.1 Terminologie et typographie.....	5
1.4.2 Axes.....	6
1.4.3 Notations et signes	6
1.4.4 Unités	7
1.5 Historique de la construction métallique	7
1.6 Concept de dimensionnement.....	8
1.6.1 Principes.....	8
1.6.2 Sécurité structurale.....	9
1.6.3 Aptitude au service	9
 2. Principes de dimensionnement.....	 11
2.1 Introduction.....	13
2.2 Buts et moyens	14
2.2.1 Buts à atteindre	14
2.2.2 Aptitude au service et plan d'utilisation.....	15
2.2.3 Sécurité structurale et plan de sécurité.....	16
2.2.4 Documentation pour le maître de l'ouvrage.....	16
2.3 Aptitude au service	17
2.3.1 Exigences	17
2.3.2 Etats d'utilisation	17
2.3.3 Plan d'utilisation	18
2.3.4 Vérification par le calcul	20
2.4 Sécurité structurale	24
2.4.1 Exigences	24
2.4.2 Situations de risque	25
2.4.3 Plan de sécurité	27
2.4.4 Vérification par le calcul	29
2.4.5 Approche probabiliste	30
2.4.6 Approche avec des facteurs partiels	34
2.5 Charges et actions.....	41
2.5.1 Poids propre de la structure porteuse	41

2.5.2	Poids propre des éléments non porteurs	41
2.5.3	Charges utiles dans les bâtiments	42
2.5.4	Neige	43
2.5.5	Vent	44
2.5.6	Température	45
2.5.7	Actions accidentelles	46
2.6	Analyse d'une structure	47
2.6.1	Modélisation de la structure	47
2.6.2	Calcul des efforts intérieurs	49
2.6.3	Calcul de la résistance	50
3.	Matériaux	55
3.1	Introduction	57
3.2	Elaboration de l'acier et produits des aciéries	58
3.2.1	Elaboration de l'acier	58
3.2.2	Traitements thermiques et mécaniques	60
3.2.3	Produits laminés à chaud	62
3.2.4	Produits façonnés à froid	66
3.2.5	Profilés tubulaires	66
3.2.6	Imperfections des produits laminés	67
3.2.7	Contraintes résiduelles	68
3.3	Caractéristiques des matériaux de construction	70
3.3.1	Acier de construction	70
3.3.2	Aluminium	74
3.3.3	Aciers d'armature et de précontrainte	76
3.3.4	Béton	77
3.4	Caractéristiques du matériau des moyens d'assemblage	80
3.4.1	Rivets	81
3.4.2	Boulons	81
3.4.3	Soudures	82
3.4.4	Eléments de connexion acier-béton	83
3.4.5	Autres moyens d'assemblage	84

DIMENSIONNEMENT D'ELEMENTS

4.	Résistance en section	87
4.1	Introduction	89
4.2	Résistance à un effort normal	90
4.3	Résistance à un moment de flexion	93
4.3.1	Flexion simple	93
4.3.2	Flexion d'une section monosymétrique	97
4.3.3	Flexion d'une section hybride	99
4.3.4	Flexion gauche	100
4.4	Résistance à un effort tranchant	106
4.5	Résistance à un moment de torsion	108
4.5.1	Modes de résistance à la torsion	108

7.3	Jointes soudés	286
7.3.1	Procédés de soudage	287
7.3.2	Types de joints et symboles	288
7.3.3	Déformations et contraintes résiduelles	290
7.3.4	Anomalies	291
7.3.5	Contrôle de qualité	291
7.3.6	Dispositions pratiques de construction	293
7.4	Résistance des joints soudés	294
7.4.1	Soudures complètement pénétrées	294
7.4.2	Cordons d'angle	295
7.4.3	Sollicitations composées	300
8.	Boulons	303
8.1	Introduction	305
8.2	Principes de dimensionnement	306
8.2.1	Sécurité structurale	306
8.2.2	Aptitude au service	306
8.2.3	Résistance à la fatigue	307
8.2.4	Assurance de qualité	307
8.3	Boulons et rivets	307
8.3.1	Types et symboles	307
8.3.2	Mise en place	311
8.3.3	Dispositions pratiques de construction	313
8.4	Résistance des boulons	315
8.4.1	Mode de transmission des forces	315
8.4.2	Résistance à un effort de cisaillement	316
8.4.3	Résistance à un effort de traction	318
8.4.4	Résistance à une interaction entre cisaillement et traction	319
8.5	Résistance des pièces assemblées	320
8.5.1	Pression latérale	321
8.5.2	Sections brutes et nettes	323
8.6	Vérification d'un assemblage boulonné	324
8.6.1	Principes	324
8.6.2	Effet de la longueur de l'assemblage	326
8.6.3	Effet de la dimension des trous	327
8.7	Vérification d'un assemblage précontraint	328
8.7.1	Principes	328
8.7.2	Résistance au glissement	331
8.7.3	Force de précontrainte	332
8.7.4	Comportement sous un effort de traction	333
8.7.5	Effet de la fatigue	336
8.7.6	Force de levier	337
8.7.7	Interaction entre cisaillement et traction	338
9.	Assemblages	343
9.1	Introduction	345

9.2	Principes de dimensionnement	346
9.2.1	Rigidité	346
9.2.2	Résistance	347
9.2.3	Capacité de rotation	347
9.3	Transmission d'un effort tranchant	348
9.3.1	Conception et modélisation	348
9.3.2	Couvre-joint d'âme boulonné	349
9.3.3	Couvre-joint d'âme soudé et boulonné	351
9.3.4	Attache par cornières	352
9.4	Transmission d'un moment de flexion	353
9.4.1	Conception et modélisation	353
9.4.2	Couvre-joints boulonnés	354
9.4.3	Plaques frontales	356
9.4.4	Liaison entièrement soudée	356
9.5	Interaction d'efforts	357
9.5.1	Joint de poutre	357
9.5.2	Liaison poutre-colonne	358
9.6	Exemples numériques	359

THÉORIE DE LA STABILITÉ

10.	Flambage	369
10.1	Introduction	371
10.2	Théorie linéaire du flambage élastique	372
10.2.1	Principes	372
10.2.2	Cas particulier du flambage par flexion et torsion	375
10.2.3	Cas particulier de la barre étrépillonnée	377
10.3	Résistance ultime au flambage	380
10.3.1	Principe du flambage par divergence	380
10.3.2	Imperfections des barres industrielles	381
10.3.3	Courbes de flambage européennes	384
11.	Déversement	389
11.1	Introduction	391
11.2	Théorie linéaire du déversement élastique	391
11.2.1	Principe du déversement	391
11.2.2	Déversement d'une poutre simple en flexion pure	392
11.2.3	Moment critique de déversement élastique	394
11.2.4	Influence des conditions d'appui	396
11.2.5	Influence du type de chargement	398
11.2.6	Influence du point d'application de la charge	400
11.2.7	Influence des appuis intermédiaires	402
11.3	Résistance ultime au déversement	403
11.3.1	Principe de calcul du moment de déversement	403
11.3.2	Calcul simplifié du moment critique de déversement élastique	403
11.3.3	Calcul du moment de déversement	408