

14.3.1	Pont à section transversale ouverte . . . . .	407
14.3.2	Pont à section transversale fermée . . . . .	411
14.4	Sollicitations des contreventements . . . . .	417
14.4.1	Forces horizontales . . . . .	417
14.4.2	Effet de la forme du contreventement . . . . .	417
14.4.3	Contreventement d'un caisson ouvert . . . . .	419
14.5	Dimensionnement . . . . .	420
14.5.1	Sécurité structurale . . . . .	420
14.5.2	Dimensions minimales . . . . .	422
<b>15.</b>	<b>Stabilité d'ensemble . . . . .</b>	<b>425</b>
15.1	Introduction . . . . .	427
15.2	Actions à considérer . . . . .	428
15.2.1	Actions permanentes . . . . .	429
15.2.2	Charges utiles . . . . .	429
15.2.3	Vent . . . . .	429
15.2.4	Séisme . . . . .	430
15.3	Stabilité au renversement . . . . .	430
15.3.1	Phénomène . . . . .	430
15.3.2	Vérification de la sécurité . . . . .	430
15.3.3	Mesures . . . . .	431
15.4	Soulèvement au droit des appuis . . . . .	432
15.4.1	Phénomène . . . . .	432
15.4.2	Vérification de la sécurité . . . . .	433
15.4.3	Mesures . . . . .	433
15.5	Stabilité longitudinale des ponts flottants . . . . .	433
15.5.1	Phénomène . . . . .	433
15.5.2	Vérification de la sécurité . . . . .	435
15.5.3	Mesures . . . . .	439

#### AUTRES TYPES DE PONTS

<b>16.</b>	<b>Ponts-rails . . . . .</b>	<b>441</b>
16.1	Introduction . . . . .	443
16.2	Conception . . . . .	444
16.2.1	Système porteur longitudinal . . . . .	444
16.2.2	Section transversale . . . . .	447
16.2.3	Fatigue et assemblages . . . . .	451
16.2.4	Détails de construction particuliers . . . . .	452
16.2.5	Esthétique . . . . .	453

<b>16.3</b>	<b>Charges</b> .....	454
16.3.1	Poids propre .....	454
16.3.2	Charges de trafic .....	455
16.3.3	Coefficient dynamique .....	456
16.3.4	Coefficient pour la classification des modèles de charge normalisés .....	456
16.3.5	Déraillement et choc .....	457
16.3.6	Effets aérodynamiques sur les parois antibruit .....	457
16.3.7	Température .....	458
<b>16.4</b>	<b>Vérifications</b> .....	458
16.4.1	Vérification de la sécurité structurale .....	458
16.4.2	Vérification de l'aptitude au service .....	459
<b>17.</b>	<b>Ponts pour piétons et cyclistes</b> .....	465
17.1	Introduction .....	467
17.2	Conception .....	467
17.2.1	Système porteur .....	467
17.2.2	Platelage .....	469
17.3	Charges et actions .....	471
17.3.1	Poids propre .....	471
17.3.2	Charge utile .....	471
17.4	Comportement dynamique .....	472
17.4.1	Introduction .....	472
17.4.2	Conception et mesures correctives .....	473
17.4.3	Analyse dynamique .....	474
17.4.4	Dimensionnement d'un amortisseur massique .....	482
17.4.5	Vérifications et valeurs limites .....	485
17.4.6	Application numérique .....	489
<b>18.</b>	<b>Ponts arcs</b> .....	493
18.1	Introduction .....	495
18.2	Forme et fonctionnement .....	496
18.2.1	Position du tablier .....	496
18.2.2	Système statique .....	496
18.2.3	Nombre d'arcs .....	497
18.2.4	Elancement .....	497
18.3	Conception et éléments de construction .....	498
18.3.1	Cheminement des charges .....	498
18.3.2	Arcs .....	498
18.3.3	Tablier .....	499
18.3.4	Suspentes .....	502
18.3.5	Contreventement .....	506
18.4	Montage .....	506

18.4.1	Haubanage . . . . .	507
18.4.2	Demi-arc levé ou abaissé . . . . .	507
18.4.3	Pont entier . . . . .	508
18.4.4	Construction des arcs en prenant appui sur le tablier . . . . .	509
18.5	Analyse structurale . . . . .	510
18.5.1	Efforts intérieurs . . . . .	510
18.5.2	Charge asymétrique et concentrée . . . . .	511
18.5.3	Stabilité des arcs . . . . .	514
18.6	Vérifications . . . . .	518
18.6.1	Position des charges de trafic . . . . .	518
18.6.2	Vérification de l'arc . . . . .	520

#### APPLICATION NUMÉRIQUE

<b>19.</b>	<b>Exemple d'un pont mixte . . . . .</b>	<b>523</b>
19.1	Introduction . . . . .	525
19.2	Description de l'ouvrage . . . . .	525
19.2.1	Utilisation . . . . .	525
19.2.2	Profil en long et tracé en plan . . . . .	526
19.2.3	Section transversale type et dalle en béton . . . . .	526
19.2.4	Poutres maîtresses . . . . .	526
19.2.5	Entretoises et raidisseurs . . . . .	528
19.2.6	Contreventements . . . . .	528
19.2.7	Connexion acier-béton . . . . .	528
19.2.8	Fabrication et montage . . . . .	528
19.2.9	Matériaux . . . . .	529
19.3	Prédimensionnement . . . . .	529
19.3.1	Hauteur de la poutre métallique . . . . .	530
19.3.2	Actions . . . . .	530
19.3.3	Dimensions des sections transversales . . . . .	531
19.4	Situations de risque et actions . . . . .	534
19.4.1	Situations de risque et états-limites . . . . .	535
19.4.2	Actions . . . . .	536
19.5	Analyse structurale . . . . .	538
19.5.1	Positionnement transversal des charges de trafic . . . . .	538
19.5.2	Positionnement longitudinal des charges de trafic . . . . .	539
19.5.3	Efforts intérieurs . . . . .	539
19.5.4	Fissuration et méthode de bétonnage . . . . .	543
19.6	Vérification de la sécurité structurale . . . . .	544
19.6.1	Définition des sections . . . . .	545
19.6.2	Section en travée au montage . . . . .	546
19.6.3	Section au milieu de la travée centrale au stade définitif . . . . .	549

19.6.4	Section sur appui intermédiaire au stade définitif .....	550
19.6.5	Vérification des raidisseurs .....	556
19.7	Dimensionnement de la connexion acier-béton .....	558
19.7.1	Résistance élastique sur appui intermédiaire .....	558
19.7.2	Résistance plastique en travée .....	560
19.8	Sécurité à la fatigue.....	563
19.8.1	Semelle inférieure en travée.....	563
19.8.2	Semelle supérieure sur appui P2 .....	565
19.8.3	Connexion acier-béton .....	566
19.8.4	Respiration de l'âme.....	567
19.9	Vérification de l'aptitude au service.....	568
19.9.1	Confort .....	568
19.9.2	Aspect.....	568
19.9.3	Aptitude au fonctionnement.....	570
	<b>Index.....</b>	<b>571</b>
	<b>Notations .....</b>	<b>577</b>
	<b>Biographie des auteurs.....</b>	<b>582</b>

# PONTS EN ACIER

**Conception et dimensionnement  
des ponts métalliques et mixtes acier-béton**

Jean-Paul Lebet et Manfred A. Hirt

Dessins de Claudio Leonardi

Cet ouvrage aborde de manière générale la conception des ponts en acier, depuis les ponts poutres aux ouvrages haubanés et suspendus, en mettant en évidence les principes conduisant aux diverses conceptions existantes. Il traite en particulier la conception et le calcul des ponts poutres constitués de poutres métalliques composées-soudées et des ponts mixtes acier-béton, ouvrages les plus fréquemment rencontrés dans ce domaine. L'accent est mis plus spécifiquement sur les ponts-routes et les ouvrages pour piétons, mais les particularités des ponts-rails sont également abordées. Pour ces structures, les aspects de la sécurité structurale avec la résistance à la fatigue et de l'aptitude au service incluant le comportement dynamique sont traités de manière détaillée. Le montage de la charpente métallique et la mise en place du tablier en béton armé ou précontraint sont expliqués en mettant en évidence leur influence sur la conception et le dimensionnement.

ISBN 978-2-88074-765-7



9 782880 747657 >

PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES

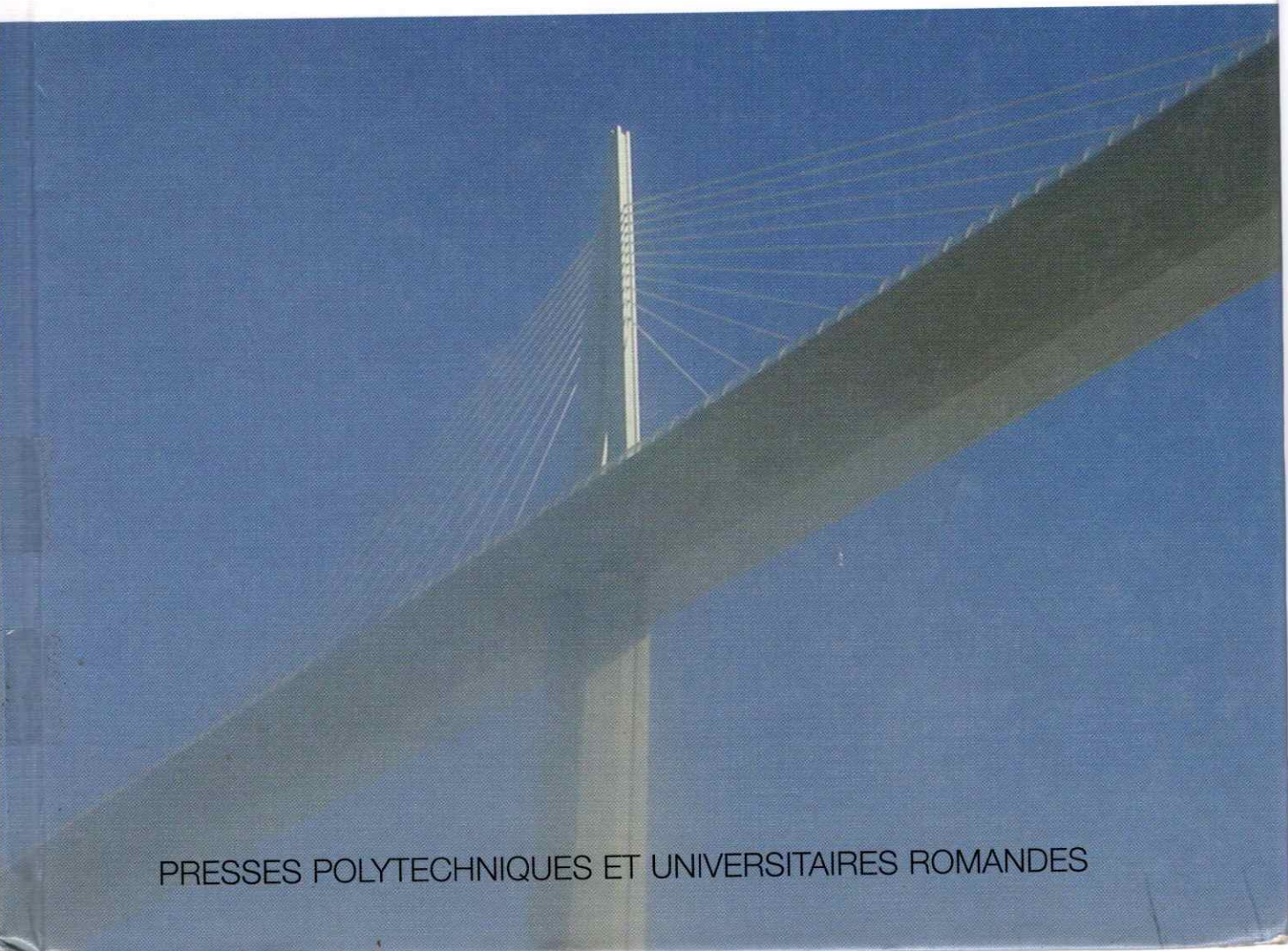
— Traité de Génie Civil —  
de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

Volume 12

# PONTS EN ACIER

Conception et dimensionnement  
des ponts métalliques et mixtes acier-béton

Jean-Paul Lebet et Manfred A. Hirt



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES

# Table des matières

Avant-propos .....	V
Table des matières .....	VII
<b>INTRODUCTION AUX PONTS</b>	
<b>1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objectifs de l'ouvrage .....	3
1.2 Structure et contenu .....	3
1.3 Documents de référence .....	5
1.3.1 Normes et recommandations .....	5
1.3.2 Autres références .....	6
1.4 Conventions .....	7
1.4.1 Terminologie et typographie .....	7
1.4.2 Axes .....	8
1.4.3 Notations et signes .....	9
1.4.4 Unités .....	9
<b>2. Description des ponts .....</b>	<b>11</b>
2.1 Introduction .....	13
2.2 Critères de classification des ponts .....	13
2.2.1 Utilisation .....	13
2.2.2 Géométrie .....	14
2.2.3 Système porteur .....	15
2.2.4 Type de dalle .....	17
2.2.5 Section transversale .....	18
2.2.6 Position de la dalle .....	19
2.2.7 Montage de la structure métallique .....	20
2.2.8 Mise en place de la dalle .....	21
2.3 Eléments structuraux .....	22
2.3.1 Superstructure .....	22
2.3.2 Infrastructure .....	25
2.4 Equipements .....	25
2.4.1 Appareils d'appuis .....	25
2.4.2 Joints de chaussée .....	26
2.4.3 Evacuation de l'eau .....	28
<b>3. Historique des ponts métalliques et mixtes .....</b>	<b>29</b>
3.1 Introduction .....	31
3.2 Histoire de la construction des ponts .....	31
3.3 Records de portée .....	42

## CONCEPTION DES PONTS

<b>4.</b>	<b>Bases pour la conception</b> .....	45
4.1	Introduction .....	47
4.2	Elaboration d'un projet .....	48
4.2.1	Etudes préliminaires .....	48
4.2.2	Avant-projets .....	50
4.2.3	Projet définitif .....	51
4.2.4	Appel d'offres .....	51
4.2.5	Projet d'exécution .....	51
4.3	Données pour un projet de pont .....	52
4.3.1	Exigences d'utilisation .....	53
4.3.2	Données relatives à l'ouvrage .....	53
4.3.3	Données relatives au site .....	54
4.4	Qualités requises pour un pont .....	56
4.4.1	Fiabilité .....	56
4.4.2	Robustesse .....	56
4.4.3	Durabilité .....	58
4.4.4	Esthétique .....	58
4.4.5	Economie .....	61
4.5	Propriétés et choix des matériaux .....	63
4.5.1	Nuances et qualités d'acier .....	63
4.5.2	Soudabilité .....	66
4.5.3	Aciers thermomécaniques .....	67
4.5.4	Aciers utilisés pour la construction des ponts .....	68
4.5.5	Protection contre la corrosion des aciers .....	69
<b>5.</b>	<b>Systèmes porteurs des ponts</b> .....	75
5.1	Introduction .....	77
5.2	Transmission des charges .....	78
5.3	Structure porteuse longitudinale .....	80
5.3.1	Influence de la portée .....	81
5.3.2	Pont poutre à âme pleine ou en caisson .....	83
5.3.3	Pont poutre à treillis .....	86
5.3.4	Système statique longitudinal des ponts poutres .....	86
5.3.5	Courbure en plan .....	90
5.4	Structure porteuse transversale .....	91
5.4.1	Contreventement .....	91
5.4.2	Système statique transversal des ponts poutres .....	92
5.5	Sections transversales .....	94
5.5.1	Sections ouvertes .....	94
5.5.2	Sections fermées .....	96
5.6	Entretoises .....	97



5.6.1	Fonctions des entretoises .....	97
5.6.2	Types d'entretoise .....	98
5.7	Contreventements .....	100
5.7.1	Fonctions des contreventements .....	100
5.7.2	Formes de contreventement .....	101
<b>6.</b>	<b>Détails de construction .....</b>	<b>105</b>
6.1	Introduction .....	107
6.2	Détails de conception générale des ponts .....	108
6.3	Poutres à âme pleine .....	111
6.3.1	Soudures .....	111
6.3.2	Raidisseurs .....	114
6.4	Entretoises .....	119
6.4.1	Entretoises cadre .....	119
6.4.2	Entretoises en treillis .....	122
6.4.3	Diaphragmes .....	124
6.5	Contreventements .....	124
6.6	Poutres à treillis .....	125
6.7	Dalle orthotrope .....	127
6.8	Equipements .....	129
<b>7.</b>	<b>Fabrication et montage de la structure métallique .....</b>	<b>131</b>
7.1	Introduction .....	133
7.2	Fabrication en atelier .....	133
7.2.1	Réception et préparation des tôles .....	133
7.2.2	Réalisation des éléments porteurs .....	134
7.2.3	Soudures .....	134
7.2.4	Protection contre la corrosion .....	134
7.3	Transport .....	135
7.4	Assemblage sur le chantier .....	136
7.5	Montage de la structure métallique .....	138
7.5.1	Particularités du montage de la charpente métallique .....	138
7.5.2	Montage à la grue depuis le sol .....	139
7.5.3	Montage par encorbellement .....	141
7.5.4	Montage par lancement .....	144
7.5.5	Mise en place du pont complet ou de très grands éléments de pont .....	151
7.6	Tolérances .....	153
<b>8.</b>	<b>Dalle des ponts mixtes .....</b>	<b>155</b>
8.1	Introduction .....	157
8.2	Conception des dalles .....	157
8.2.1	Fonctions de la dalle .....	158

8.2.2	Dimensions générales .....	158
8.3	Détails de construction .....	160
8.3.1	Etanchéité et revêtement .....	160
8.3.2	Bordures et parapets .....	161
8.3.3	Liaison de la dalle aux poutres métalliques .....	162
8.4	Mise en place de la dalle en béton .....	164
8.4.1	Dalle coulée sur place .....	164
8.4.2	Dalle ripée .....	168
8.4.3	Dalle préfabriquée .....	170
8.4.4	Incidences de la mise en place de la dalle sur le dimensionnement .....	173
8.4.5	Influence de la méthode de montage de la dalle sur les sollicitations des piles ..	175
8.5	Fissuration de la dalle .....	176
8.5.1	Origines de la fissuration .....	176
8.5.2	Effets d'hydratation de la dalle en béton .....	177
8.5.3	Effets des étapes de bétonnage .....	180
8.6	Précontrainte longitudinale .....	183
8.6.1	Choix du système de précontrainte longitudinale .....	184
8.6.2	Approche simplifiée du calcul de la perte de précontrainte .....	187

#### ANALYSE ET DIMENSIONNEMENT

<b>9.</b>	<b>Principes de dimensionnement</b> .....	189
9.1	Introduction .....	191
9.2	Etapes de la vie d'un ouvrage et documents d'organisation .....	191
9.3	Elaboration du projet .....	193
9.3.1	Convention d'utilisation .....	193
9.3.2	Base du projet .....	194
9.3.3	Conception .....	196
9.3.4	Analyse structurale .....	197
9.3.5	Dimensionnement .....	198
9.4	Actions .....	199
9.5	Vérification de l'aptitude au service .....	201
9.5.1	Principe de la vérification .....	201
9.5.2	Cas de charges .....	201
9.5.3	Limites de service .....	202
9.6	Vérification de la sécurité structurale .....	204
9.6.1	Principe de la vérification .....	204
9.6.2	Cas de charges .....	205
9.6.3	Résistance ultime .....	206
<b>10.</b>	<b>Charges et actions</b> .....	209
10.1	Introduction .....	211
10.2	Charges permanentes et effets de longue durée .....	211

10.2.1	Poids propre de la structure porteuse . . . . .	211
10.2.2	Poids propre des éléments non porteurs . . . . .	213
10.2.3	Retrait, fluage, précontrainte . . . . .	213
10.2.4	Tassement d'appui . . . . .	213
10.2.5	Action des terres et de l'eau . . . . .	214
10.3	Charges de trafic . . . . .	214
10.3.1	Ponts-route . . . . .	214
10.3.2	Autres types de ponts . . . . .	217
10.4	Actions climatiques . . . . .	218
10.4.1	Vent . . . . .	218
10.4.2	Température . . . . .	219
10.4.3	Neige . . . . .	222
10.5	Charges pendant la construction . . . . .	222
10.6	Actions accidentelles . . . . .	223
10.6.1	Séisme . . . . .	223
10.6.2	Choc . . . . .	227
10.7	Forces de frottement et de rappel des appuis . . . . .	231
10.7.1	Appuis glissants ou à rouleaux . . . . .	231
10.7.2	Appuis déformables . . . . .	231
<b>11.</b>	<b>Efforts intérieurs des ponts poutres . . . . .</b>	<b>233</b>
11.1	Introduction . . . . .	235
11.2	Modélisation d'un pont poutre . . . . .	236
11.2.1	Modèle de la structure . . . . .	236
11.2.2	Moment de flexion . . . . .	239
11.2.3	Effort tranchant . . . . .	240
11.2.4	Moment de torsion . . . . .	241
11.3	Torsion . . . . .	244
11.3.1	Rappels . . . . .	245
11.3.2	Torsion uniforme . . . . .	245
11.3.3	Torsion non uniforme . . . . .	249
11.3.4	Torsion mixte . . . . .	254
11.4	Ponts droits à section fermée . . . . .	256
11.4.1	Comportement à la torsion . . . . .	256
11.4.2	Calcul des efforts intérieurs . . . . .	257
11.5	Ponts droits à section ouverte . . . . .	259
11.5.1	Comportement à la torsion . . . . .	259
11.5.2	Ligne de répartition transversale . . . . .	260
11.5.3	Effets d'un contreventement . . . . .	269
11.5.4	Calcul des efforts intérieurs . . . . .	270
11.6	Ponts biais . . . . .	272
11.6.1	Effet du biais . . . . .	272
11.6.2	Section fermée . . . . .	273
11.6.3	Section ouverte . . . . .	277

11.7	Ponts courbes . . . . .	281
11.7.1	Effet de la courbure . . . . .	281
11.7.2	Equations différentielles . . . . .	282
11.7.3	Section fermée . . . . .	284
11.7.4	Section fermée – Méthode de calcul simplifiée . . . . .	288
11.7.5	Section ouverte . . . . .	292
<b>12.</b>	<b>Poutres métalliques . . . . .</b>	<b>295</b>
12.1	Introduction . . . . .	297
12.2	Résistance à un moment de flexion . . . . .	298
12.2.1	Introduction . . . . .	298
12.2.2	Flambage vertical de la semelle comprimée dans l'âme . . . . .	299
12.2.3	Flambage par rotation de la semelle comprimée . . . . .	301
12.2.4	Déversement de la poutre . . . . .	302
12.2.5	Voilement de l'âme . . . . .	308
12.2.6	Vérification de la sécurité structurale . . . . .	312
12.2.7	Exemple numérique: résistance à un moment de flexion . . . . .	313
12.3	Résistance à un effort tranchant . . . . .	317
12.3.1	Introduction . . . . .	317
12.3.2	Contribution pré-critique avant voilement élastique . . . . .	318
12.3.3	Contribution post-critique après voilement élastique . . . . .	319
12.3.4	Vérification de la sécurité structurale . . . . .	326
12.3.5	Exemple numérique: Résistance à un effort tranchant . . . . .	326
12.4	Résistance sous interaction d'efforts . . . . .	327
12.4.1	Condition d'interaction . . . . .	327
12.4.2	Vérification de la sécurité structurale . . . . .	329
12.4.3	Exemple numérique: Résistance d'une poutre sous interaction d'efforts . . . . .	329
12.5	Résistance aux charges concentrées . . . . .	330
12.5.1	Résistance aux charges concentrées mobiles . . . . .	331
12.5.2	Vérification de la sécurité structurale . . . . .	333
12.6	Raidisseurs . . . . .	333
12.6.1	Raidisseurs transversaux intermédiaires . . . . .	334
12.6.2	Raidisseurs d'appuis intermédiaires . . . . .	335
12.6.3	Raidisseurs d'appuis d'extrémité . . . . .	336
12.6.4	Raidisseurs longitudinaux . . . . .	338
12.7	Fatigue . . . . .	340
12.7.1	Résistance à la fatigue . . . . .	340
12.7.2	Vérification . . . . .	341
12.7.3	Respiration de l'âme . . . . .	344
12.8	Poutres en caisson . . . . .	345
12.8.1	Différences entre poutres en caisson et poutres à âme pleine composées-soudées . . . . .	345
12.8.2	Caisson sans raidisseur longitudinal . . . . .	347
12.8.3	Caisson avec raidisseurs longitudinaux . . . . .	347
12.8.4	Raidisseurs transversaux . . . . .	349

		351
<b>13.</b>	<b>Poutres mixtes</b>	353
13.1	Introduction	354
13.2	Effets des actions particulières dans les ponts mixtes	354
13.2.1	Introduction	354
13.2.2	Retrait	360
13.2.3	Température	362
13.3	Calcul des efforts intérieurs	362
13.3.1	Principe	363
13.3.2	Sections résistantes	363
13.3.3	Influence de la fissuration	366
13.3.4	Largeur participante de la dalle	367
13.4	Résistance en section et vérification de la sécurité structurale	367
13.4.1	Classes de section et modèles de résistance	368
13.4.2	Résistance élastique	370
13.4.3	Résistance plastique	374
13.4.4	Vérification de la sécurité structurale à la flexion	376
13.4.5	Vérification de la sécurité structurale à l'effort tranchant et sous interaction d'efforts	376
13.5	Connexion acier-béton	376
13.5.1	Cisaillement longitudinal	382
13.5.2	Résistance des goujons	383
13.5.3	Nombre et disposition des goujons	386
13.5.4	Introduction d'un effort rasant concentré	390
13.6	Cisaillement longitudinal de la dalle	390
13.6.1	Cisaillement longitudinal dans l'épaisseur de la dalle	393
13.6.2	Cisaillement longitudinal autour des goujons	393
13.6.3	Interaction cisaillement longitudinal - flexion transversale	393
13.7	Vérification de l'aptitude au service	394
13.7.1	Contrainte de traction dans la poutre métallique	394
13.7.2	Déformations	395
13.7.3	Fissuration	396
13.7.4	Vibrations	399
<b>14.</b>	<b>Entretoises et contreventements</b>	401
14.1	Introduction	401
14.2	Charges et actions	401
14.2.1	Rappel des fonctions des entretoises et des contreventements	402
14.2.2	Vent	403
14.2.3	Stabilisation au déversement	404
14.2.4	Effet de la courbure	406
14.2.5	Appuis temporaires pour les vérins	407
14.3	Sollicitations des entretoises	