

# Table des matières

Introduction.....	XVI
<b>Chapitre 1 INTRODUCTION AUX CHARPENTES D’ACIER .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1</b> Survol historique de l’origine des charpentes métalliques.....	<b>4</b>
1.1.1 Âge du fer.....	4
1.1.2 Empire romain .....	4
1.1.3 Moyen Âge .....	4
1.1.4 Renaissance.....	5
<b>1.2</b> Quelques événements marquants pour le génie civil moderne.....	<b>5</b>
1.2.1 Premier grand pont métallique.....	5
1.2.2 Production de la fonte de fer dans le haut fourneau .....	6
1.2.3 Invention du four Bessemer.....	6
1.2.4 Premier pont en acier .....	6
1.2.5 Premier gratte-ciel en acier .....	7
1.2.6 Tour Eiffel .....	8
1.2.7 Pont de Québec .....	8
1.2.8 Empire State Building .....	9
1.2.9 Place Ville Marie.....	9
1.2.10 First Canada Place.....	10
<b>1.3</b> Avantages et inconvénients des charpentes d’acier .....	<b>10</b>
<b>1.4</b> Normes et codes en vigueur au Canada .....	<b>11</b>
1.4.1 Code national du bâtiment (CNB) du Canada.....	11
1.4.2 Norme sur l’acier utilisé dans les charpentes (CSA-G40.21).....	12
1.4.3 Normes de calcul des structures (CSA-S16 et CSA-S136).....	12
CSA-S16 – Règles de calcul des charpentes en acier.....	12
CSA-S136 – Spécification nord-américaine pour le calcul des éléments de charpente en acier formés à froid .....	12
1.4.4 Norme canadienne de calcul des ponts (CSA-S6).....	12
1.4.5 Code de pratique standard pour l’acier de charpente (CPS-ICCA).....	13
<b>QUESTIONS.....</b>	<b>13</b>

<b>Chapitre 2 PROPRIÉTÉS DE L'ACIER ET DES PROFILÉS</b> .....	14
<b>2.1</b> Procédés de fabrication de l'acier .....	16
2.1.1 Comparaison entre la fonte et l'acier .....	16
2.1.2 Méthode antique de production du fer .....	17
2.1.3 Production de la fonte dans le haut fourneau .....	18
2.1.4 Production de l'acier .....	19
Four à oxygène .....	19
Four électrique .....	19
Production de l'acier à partir du minerai .....	20
Aciers alliés .....	21
<b>2.2</b> Propriétés mécaniques de l'acier .....	21
2.2.1 Comportement élastique de l'acier .....	22
◆ Exemple 2.1 .....	23
2.2.2 Comportement élastoplastique de l'acier .....	24
2.2.3 Limite élastique ( $F_y$ ) .....	24
2.2.4 Limite ultime ( $F_u$ ) .....	25
2.2.5 Module d'élasticité ( $E_s$ ) .....	25
2.2.6 Acier comparé à d'autres matériaux du génie civil .....	25
2.2.7 Ductilité .....	27
2.2.8 Résilience .....	28
<b>2.3</b> Autres propriétés de l'acier de charpente .....	28
2.3.1 Dilatation thermique de l'acier .....	28
◆ Exemple 2.2 .....	29
◆ Exemple 2.3 .....	29
2.3.2 Soudabilité .....	30
2.3.3 Masse volumique de l'acier .....	30
2.3.4 Résistance à la corrosion .....	31
Acier inoxydable .....	31
Acier patinable (ASTM-A242 et A588) .....	31
Galvanisation .....	32
Peintures .....	33
2.3.5 Traitement thermique de l'acier .....	34
<b>2.4</b> Aciers canadiens .....	34

<b>2.5</b>	Types de profilés .....	36
2.5.1	Profilés laminés à chaud.....	36
2.5.2	Profilés « anciens » .....	37
2.5.3	Seconde génération de profilés en I .....	37
2.5.4	Plaques et barres .....	38
2.5.5	Profilés laminés à froid.....	38
2.5.6	Profilés soudés.....	39
2.5.7	Profilés tubulaires.....	39
2.5.8	Tabliers métalliques .....	40
2.5.9	Choix de profilés pour un projet.....	42
<b>2.6</b>	Nomenclature des profilés.....	42
2.6.1	Système international d'unités (SI) .....	42
2.6.2	Profilés identifiés par leur hauteur nominale et leur masse linéaire .....	43
2.6.3	Profilés laminés à froid C et Z .....	44
	Ancienne nomenclature.....	44
	Nouvelle nomenclature .....	44
2.6.4	Profilés identifiés par leurs dimensions réelles et l'épaisseur de leur paroi ..	45
2.6.5	Profilés identifiés par leurs deux ou trois dimensions .....	46
2.6.6	Nomenclature particulière à un fabricant.....	47
2.6.7	Calcul de masse.....	48
2.6.8	Calcul par la masse linéaire.....	48
2.6.9	Calcul par la masse volumique .....	48
	◆ Exemple 2.4 .....	49
<b>2.7</b>	Tolérances de fabrication .....	50
	<b>QUESTIONS</b> .....	52
	<b>Chapitre 3 PARTIES D'UNE CHARPENTE ET TYPES DE BÂTIMENTS</b> .....	53
<b>3.1</b>	Présentation du bâtiment modèle .....	56
<b>3.2</b>	Structure portante.....	56
<b>3.3</b>	Système de résistance aux charges gravitaires (SRCG) .....	57
3.3.1	Suspentes .....	58
3.3.2	Platelage de planchers et de toitures.....	59
3.3.3	Autres types de planchers.....	60

3.3.4	Poutre mixte (goujons de cisaillement) .....	61
3.3.5	Système Gerber .....	62
<b>3.4</b>	<b>Système de résistance aux charges latérales (SRCL) .....</b>	<b>64</b>
3.4.1	Contreventements .....	65
3.4.2	Plots de cisaillements .....	67
<b>3.5</b>	<b>Éléments secondaires .....</b>	<b>67</b>
3.5.1	Renforts d'ouverture.....	68
3.5.2	Murs avec lisses et tirants.....	68
3.5.3	Marquise intégrée à la charpente d'acier .....	70
3.5.4	Linteau fixe et allège fixe .....	70
<b>3.6</b>	<b>Bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels de faible hauteur.....</b>	<b>71</b>
<b>3.7</b>	<b>Bâtiments industriels légers .....</b>	<b>72</b>
<b>3.8</b>	<b>Exercices d'identification.....</b>	<b>74</b>
	<b>QUESTIONS.....</b>	<b>75</b>
	<b>Chapitre 4 ASSEMBLAGES.....</b>	<b>76</b>
<b>4.1</b>	<b>Méthodes d'assemblage.....</b>	<b>78</b>
4.1.1	Rivetage .....	79
4.1.2	Boulonnage .....	79
4.1.3	Soudage .....	79
4.1.4	Avantages et inconvénients .....	80
	Facilité d'installation .....	80
	Affaiblissement de la section .....	80
	Besoins en main-d'œuvre spécialisée .....	80
	Ajustement au chantier .....	80
	Température et environnement contrôlé .....	81
	Santé et sécurité des ouvriers.....	81
	Coûts en matériaux .....	81
4.1.5	Combinaison de soudure et de boulons.....	81
<b>4.2</b>	<b>Assemblages boulonnés.....</b>	<b>82</b>
4.2.1	Deux classes d'assemblage boulonné : par pression diamétrale ou par frottement .....	83
4.2.2	Catégories de boulons structuraux .....	83
	Boulons ordinaires (ASTM-A307) .....	84

	Boulons en acier au carbone à haute résistance (ASTM-A325) .....	84
	Boulons en acier allié à haute résistance (ASTM-A490) .....	85
4.2.3	Choix de boulons pour un projet de charpente.....	85
4.2.4	Caractéristiques des boulons à haute résistance (A325 et A490) .....	85
4.2.5	Assemblages par frottement .....	87
4.2.6	Serrage des boulons .....	87
	Mesure du tour d'écrou .....	88
	Rondelles indicatrices (ASTM-F959) .....	88
	Boulons à tension contrôlée (ASTM-F1852 et F2280) .....	88
4.2.7	Disposition et types de trous .....	89
	Types de trous .....	89
	Positionnement des boulons.....	91
	Pincés minimale et maximale .....	96
4.2.8	Longueur des boulons .....	96
	◆ Exemple 4.1 .....	98
4.3	Assemblages soudés .....	100
4.3.1	Soudage à l'électrode enrobée.....	100
4.3.2	Autres procédés de soudage .....	101
	Soudage TIG.....	101
	Soudage MIG.....	102
	Procédé FCAW.....	102
	Soudage SAW.....	103
4.3.3	Avantages et inconvénients .....	103
4.3.4	Utilité des soudures.....	105
	Soudure par point .....	105
	Soudure d'étanchéité.....	105
	Soudure de force .....	105
4.3.5	Classes de soudures.....	105
	Soudure d'angle .....	106
	Soudure à rainure .....	107
4.3.6	Symboles de soudure.....	108
	◆ Exercice 4.1 .....	112

4.4	Choix de la configuration d'un assemblage .....	113
4.4.1	Platine .....	114
4.4.2	Doubles cornières (ou cornières jumelées) .....	114
4.4.3	Cornière simple .....	114
4.4.4	Assemblage en T.....	114
4.4.5	Plaque de cisaillement.....	115
4.4.6	Tasseau .....	115
4.4.7	Avantages et inconvénients .....	116
◆	Exercice 4.2.....	116
4.5	Calculs d'assemblages .....	116
4.5.1	Efforts dans les assemblages.....	118
	Effort axial.....	118
	Cisaillement (ou effort tranchant).....	119
	Effort ou moment de flexion .....	120
	Effort de torsion .....	121
	Efforts combinés.....	121
4.5.2	Plastification de la section brute en traction.....	122
◆	Exemple 4.2 .....	124
4.5.3	Calculs d'assemblages boulonnés .....	124
	Cisaillement d'un boulon.....	125
◆	Exemple 4.3 .....	127
	Pression diamétrale dans un trou.....	128
	Résistance en pression diamétrale, cas général .....	129
◆	Exemple 4.4 .....	130
	Résistance en pression diamétrale, cas particulier : trous oblongs longs....	131
	Résistance en traction d'un boulon.....	131
	Assemblage antiglissement ou par frottement.....	132
◆	Exemple 4.5 .....	134
	Cassure droite .....	134
◆	Exemple 4.6 .....	136
4.5.4	Calculs d'assemblages soudés.....	136
◆	Exemple 4.7 .....	140
◆	Exemple 4.8 .....	141

◆ Exercice 4.3 .....	141
4.5.5 Déchirure en cisaillement et en traction .....	142
◆ Exemple 4.9 .....	144
4.5.6 Tableaux d'assemblages normalisés .....	144
◆ Exemple 4.10 .....	148
4.5.7 Autres phénomènes non détaillés dans ce manuel .....	150
Effet de levier .....	150
Boulons en quinconce .....	151
Décalage en cisaillement .....	152
Effort excentrique.....	154
Soudure en cisaillement et en traction .....	155
QUESTIONS.....	155
<b>Chapitre 5 DESSINS DE CHARPENTES D'ACIER</b> .....	158
<b>5.1</b> Plans d'étude de conception structurale.....	161
5.1.1 Système d'axes et de niveaux .....	161
5.1.2 Vues d'ensemble.....	161
Vues en plan.....	161
Vues en élévation .....	165
5.1.3 Coupes et détails .....	166
5.1.4 Rigueur dans les dessins et suivi des modifications .....	166
Émission de nouvelles versions des dessins .....	166
Répétition de l'information.....	167
La bonne information à la bonne place .....	168
<b>5.2</b> Plans de fabrication et de montage .....	168
5.2.1 Système de repérage (marques) .....	168
5.2.2 Plans de montage .....	170
5.2.3 Dessins de fabrication.....	172
Normes de présentation .....	172
Bordereau de matériel.....	176
Dessin de poutre.....	177
Dessin de poteau .....	180
Dessin de contreventement .....	182
Uniformisation des assemblages.....	184

<b>5.3</b>	Utilisation d'un logiciel de dessin .....	184
5.3.1	Dessin 2D .....	184
5.3.2	Modélisation 3D .....	186
	1. Création du modèle 3D brut.....	186
	2. Ajout des détails d'assemblage .....	187
	3. Création des dessins .....	188
	4. Création des fichiers CNC pour la fabrication.....	189
<b>5.4</b>	Lecture de plans .....	189
<b>5.5</b>	L'approche BIM .....	190
5.5.1	Niveau de développement .....	190
5.5.2	Gestionnaire BIM.....	191
5.5.3	Plan de gestion BIM (PGB).....	191
	<b>QUESTIONS</b> .....	194
	<b>Chapitre 6 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UNE CHARPENTE DE BÂTIMENT</b> .....	196
<b>6.1</b>	Notions de calcul aux états limites .....	199
6.1.1	Types de charges .....	200
6.1.2	Combinaison des charges pour les états limites ultimes .....	200
6.1.3	Combinaisons de charges pour la tenue en service.....	203
6.1.4	Facteurs de risque et catégories de risque .....	203
6.1.5	États limites de tenue en service .....	205
	Flèches verticales.....	205
	Flèches horizontales .....	205
	Vibrations.....	206
<b>6.2</b>	Calcul des charges sur une membrure.....	207
6.2.1	Surcharge d'utilisation .....	207
6.2.2	Charges permanentes .....	209
	◆ Exemple 6.1 .....	213
	◆ Exemple 6.2 .....	213
6.2.3	Charge de neige et accumulation .....	215
	Charge de neige uniforme sur un toit.....	215
	◆ Exemple 6.3 .....	220
	Accumulation de neige sur toit en contrebas.....	221



◆ Exemple 6.4 .....	224
Accumulation de neige près d'une saillie.....	226
◆ Exemple 6.5 .....	227
6.2.4 Poutre et largeur tributaire.....	228
◆ Exemple 6.6 .....	229
6.2.5 Poteau et aire tributaire .....	230
◆ Exemple 6.7 .....	231
6.2.6 Facteur de réduction de la surcharge (FRS) .....	231
<b>6.3</b> Système de résistance aux charges gravitaires (SRCG) .....	233
6.3.1 Notions de platelage d'acier pour plancher et toiture.....	233
6.3.2 Prédimensionnement des poutrelles.....	235
6.3.3 Exemples de calcul de platelage et poutrelles .....	238
◆ Exemple 6.8 .....	238
◆ Exemple 6.9 .....	247
6.3.4 Calcul de poutres simples.....	249
Flexion de la poutre .....	252
Cisaillement de la poutre.....	254
Flèche de la poutre.....	255
Plissage de l'âme sous des charges concentrées.....	255
◆ Exemple 6.10 .....	257
6.3.5 Calcul de poteaux avec charge axiale seulement.....	259
◆ Exemple 6.11 .....	264
6.3.6 Conception de pièces tendues .....	267
◆ Exemple 6.12 .....	268
6.3.7 Pièces supportant des efforts combinés de flexion et de compression .....	270
<b>6.4</b> Système de résistance aux charges latérales (SRCL) .....	272
6.4.1 Différents systèmes de SRCL .....	273
6.4.2 Diaphragme horizontal faisant partie intégrante du SRCL .....	275
6.4.3 Méthode simplifiée des charges sismiques du CNB .....	278
6.4.4 Charges de vent sur un bâtiment.....	281
<b>6.5</b> Plaque d'assise de poteau avec charge axiale seulement .....	283
◆ Exemple 6.13 .....	285
<b>QUESTIONS</b> .....	285

<b>Chapitre 7 PRÉSENTATION D'UNE STRUCTURE DE PONT ROUTIER</b> .....	288
<b>7.1</b> Nomenclature d'un pont à poutres en I.....	291
<b>7.2</b> Particularités de la conception de ponts.....	293
7.2.1 Construction mixte acier-béton .....	293
7.2.2 Charges mobiles et voies de circulation.....	294
7.2.3 Fatigue de l'acier .....	296
7.2.4 Contrôle de la qualité en usine.....	296
7.2.5 Stabilité des poutres minces et élancées.....	298
7.2.6 Cambrure d'un pont .....	301
7.2.7 Appareils d'appui et joints de dilatation .....	301
<b>7.3</b> Plans normalisés du ministère des Transports du Québec.....	304
QUESTIONS.....	305
<b>Chapitre 8 INDUSTRIE CANADIENNE DE LA CHARPENTE D'ACIER</b> .....	306
<b>8.1</b> Intervenants et responsabilités.....	308
<b>8.2</b> Le Code de pratique standard de l'ICCA.....	310
<b>8.3</b> Montage de charpentes d'acier.....	310
◆ Exemple 8.1 .....	315
◆ Exemple 8.2 .....	317
◆ Exemple 8.3 .....	321
<b>8.4</b> Inspection des structures.....	322
QUESTIONS.....	323
<b>ANNEXES</b> .....	327
<b>Annexe 1</b> Réponses aux exercices de fin de chapitres .....	328
<b>Annexe 2</b> Liste des symboles et des abréviations.....	341
<b>Annexe 3.1</b> Tableaux de profilés .....	343
<b>Annexe 3.2</b> Tableaux de sélection de poutres W.....	365
<b>Annexe 3.3</b> Tableaux de sélection de poteaux HSS carrés et rectangulaires .....	375
GLOSSAIRE.....	385
MÉDIAGRAPHIE .....	397
SOURCES ICONOGRAPHIQUES.....	399