

CONSTRUCTION MÉTALLIQUE : DU PLAN AU DIMENSIONNEMENT

Conception, assemblages et calculs
appliqués avec exercices et corrigés

Makram Maaloul
Rami Belguith



CONSTRUCTION MÉTALLIQUE : DU PLAN AU DIMENSIONNEMENT

Conception, assemblages
et calculs appliqués
avec exercices et corrigés

Makram Maaloul
Rami Belguith



Collection Formations & Techniques

dirigée par Paul de Laboulaye

paul.delaboulaye@editions-ellipses.fr

Retrouvez tous les titres de la collection et des extraits
sur www.editions-ellipses.fr



ISBN 9782340-115460

Dépôt légal : juin 2026

©Ellipses Édition Marketing S.A.
8/10 rue la Quintinie 75015 Paris



Le Code de la propriété intellectuelle et artistique n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.editions-ellipses.fr

Avant-propos

La construction métallique occupe aujourd'hui une place essentielle dans le domaine du bâtiment et des ouvrages d'art. Ses performances mécaniques, sa rapidité de mise en œuvre et sa grande modularité en font un choix privilégié pour de nombreux projets industriels, commerciaux et architecturaux. Pourtant, derrière cette apparente simplicité se cache une discipline exigeante, où la précision des calculs, la rigueur des assemblages et la maîtrise des règles de l'art conditionnent la sécurité et la durabilité des structures.

Le présent ouvrage a pour ambition d'offrir aux étudiants, techniciens, ingénieurs débutants ainsi qu'aux praticiens de la construction métallique un support complet, progressif et illustré. Il rassemble, de façon structurée, l'ensemble des notions fondamentales nécessaires à la compréhension, à la conception et au dimensionnement des structures métalliques.

Il présente également un large éventail d'exemples pratiques, de plans, d'assemblages courants ou complexes, ainsi que des méthodes de calcul conformes aux prescriptions réglementaires et aux recommandations professionnelles.

Ce livre a été pensé comme un outil pédagogique, mais aussi comme un guide opérationnel. Chaque chapitre vise à rapprocher la théorie de la pratique en mettant l'accent sur :

- la lecture et la conception des plans d'ouvrages métalliques ;
- les différents types d'assemblages et leurs modes de fonctionnement ;
- les principes de calcul des sollicitations et des éléments structuraux ;
- les méthodologies de dimensionnement, accompagnées d'exercices pratiques ;
- les configurations particulières rencontrées dans les projets réels.

À travers cet ouvrage, l'objectif est de permettre au lecteur d'acquérir non seulement les connaissances techniques indispensables, mais également les bons réflexes de conception et de vérification qui fondent un travail d'ingénierie fiable et conforme aux normes en vigueur.

Puissent ces pages accompagner efficacement vos études, vos projets et votre pratique professionnelle, et contribuer au développement d'une construction métallique rigoureuse, performante et durable.

Table des matières

Chapitre 1 - Conception en construction métallique.....	19
I. Exemple de plan d'implantation	19
1. Composition d'un plan d'implantation.....	20
2. Convention de représentation dans un plan d'implantation	21
II. Exemple de plan d'ensemble	21
1. Conventions de schématisation dans un plan d'ensemble.....	22
2. Agrandissement sur une partie du long-pan file C	22
3. Agrandissement sur une partie portique de la file 1	23
III. Exemple de plan de sous-ensemble	24
IV. Exemple de plan de détails	24
1. Composition d'un plan de détails	24
2. Conventions de schématisation dans un plan de détails	25
3. Agrandissement sur une partie de la tête de poteau.....	25
V. Exemple de dessin de définition	26
VI. Exemple de dessin de fabrication.....	27
VII. Exemple de plan de calepinage.....	27
1. Composition d'un plan de calepinage	28
2. Agrandissement sur le pignon de file 1 du plan de calepinage.....	29
VIII. Types de ferme	31
IX. Portique	32
1. Portiques en treillis	32
2. Portiques en poutrelles	32
3. Portiques en reconstitué (PRS).....	33
X. Vocabulaire des bâtiments métalliques	33
Chapitre 2 - Assemblages courants en construction métallique.....	37
I. Rappels succincts sur les modes de liaison	37
1. Boulons normaux.....	37
a. Terminologie et caractéristiques.....	37
b. Caractéristiques de résistance.....	37
c. Fonctionnement	37
d. Vérifications traction et/ou cisaillement.....	38
e. Vérifications pression diamétrale	38
f. Rigidité des assemblages boulonnés	39
2. Boulons précontraints HR	39
a. Terminologie, caractéristiques et fonctionnement.....	39
b. Caractéristiques de résistance	40
c. Rigidité des assemblages avec boulons précontraints	40
3. Assemblage soudé	40
a. Terminologie.....	40

b. Fonctionnement – Bilan des efforts générés au niveau du cordon de soudure.....	41
c. Cordons frontaux, latéraux et obliques	41
d. Vérification.....	42
e. Rigidité des assemblages soudés	42
4. Assemblage riveté	42
a. Présentation.....	42
b. Rigidité	43
II. Principe de conception et transmission des efforts	43
1. Attaches à boulon unique	43
2. Attaches avec plusieurs modes de liaison.....	43
3. Transmission des efforts.....	44
4. Convenance de l'assemblage avec la modélisation	45
III. Assemblages habituels d'éléments	46
1. Poutres superposées.....	46
a. Dispositions habituelles	46
b. Cas des pannes en toiture.....	48
c. Assemblage des lisses de bardage	49
2. Assemblage d'éléments de contreventement.....	50
a. Cas des contreventements à treillis horizontaux.....	50
3. Assemblage des contreventements verticaux	52
a. Assemblage considéré comme palée de stabilité	52
b. Dispositions ordinaires	53
c. Dispositions ordinaires pour les palées en X.....	53
e. Vérification des attaches au niveau des cornières.....	54
4. Assemblages entre les poutres et les poteaux	55
a. Dispositions globales	55
b. Attache avec éclisse soudée sur le poteau	55
c. Attache poutre poteau par double cornières boulonnées	60
d. Autres dispositions	62
5. Assemblages poutre-poutre	64
a. Disposition globale	64
b. Attache avec une solution sans grugeage	65
c. Solution d'attache avec grugeage	66
d. Solution de poutre porteuse de deux poutres symétriques.....	67
e. Attaches de tirants et câbles.....	69
6. Attaches de tubes.....	71
a. Extrémités de tubes aplatis	71
b. Mode de fabrication.....	71
c. Différents types d'aplatissement.....	72
d. Types d'assemblage.....	72
e. Cas d'une ossature spatiale présenté par le système de Mero	73
7. Autre disposition particulière	74
a. Système anti-desserrement des boulons	74
b. Solution plein trou	74

Chapitre 3 - Généralités sur le calcul et actions sur les structures75

I. Etats limites.....	75
II. Actions	76
III. Combinaisons d'actions.....	76
1. Combinaisons d'actions aux E.L.U :	76
a. Situations de projet durables et transitoires (combinaison fondamentale)	76
b. Situations de projet avec une seule action variable Q_{k1}	76
c. Situations de projet avec deux actions variables Q_{k1} ou davantage	77
2. Combinaisons d'actions aux E.L.S.....	77
a. Situations de projet avec une seule action variable Q_{k1}	77
b. Situations de projet avec deux actions variables Q_{k1} ou davantage.....	77
3. Valeur limite des déformations.....	77
IV. Actions du vent NV65.....	78
1. Caractéristiques de la construction.....	78
2. Pressions dynamiques.....	79
a. Pressions dynamiques pour la France.....	79
b. Pressions dynamiques pour la Tunisie.....	81
3. Coefficient de pression extérieure C_e	83
a. Généralité.....	83
b. Convention de signes.....	84
c. Parois verticales	84
d. Versant de toiture	84
4. Coefficient de pression intérieur.....	85
a. Perméabilité des parois	85
b. Convention de signes.....	86
c. Valeurs des coefficients de pression intérieure.....	86
V. Actions de la neige	88
1. Charge de neige NV65 (France).....	88
2. Charge de neige sur le sol N84 (Tunisie)	90
3. Charge de neige sur les toitures ou autres surfaces	90
a. Facteurs influençant les valeurs de μ	90
b. Cas de charge.....	91
c. Calcul du coefficient μ	91
VI. Exercice.....	94

Chapitre 4 - Calcul des pannes et portiques.....103

I. Calcul pannes	103
1. Aspects technologiques	103
2. Détermination des sollicitations	103
3. Principe du dimensionnement aux efforts appliqués	104
a. Conditions de la résistance des pannes	104
b. Conditions de flèche des pannes.....	105
4. Méthodes de calcul des pannes en flexion déviée.....	105
a. Calcul en élasticité (sections de classe 3)	105
b. Calcul en plasticité (sections de classes 1 et 2)	106
5. Exercice	107

II. Calcul des liernes	111
1. Introduction	111
2. Dimensionnement des liernes	111
a. Calcul les efforts sur les liernes	112
b. Calcul de la section des liernes	112
3. Exercice	112
III. Calcul de l'échantignolle	113
1. Introduction	113
2. Dimensionnement de l'échantignolle	113
a. Calcul du moment de renversement.....	114
b. Dimensionnement de l'échantignolle	114
3. Exercice	114
IV. Calcul des portiques avec traverses à âme pleine	114
1. Conception technologique	114
2. Schémas statiques	115
3. Calcul des sollicitations	117
a. Calcul des sollicitations sous charges verticales (charges permanentes ou neige).....	118
b. Autre sollicitation	118
4. Vérification de la flèche de la traverse	122
5. Vérification des poteaux au flambement	122
6. Dimensionnement des renforts de traverse.....	123
7. Clés de faitage.....	123
8. Exercice	124
V. Calcul potelet.....	127
1. Définition.....	127
2. Détermination des sollicitations	128
a. Evaluation des charges et surcharges.....	128
b. Principe de dimensionnement.....	128
3. Exercice	130
VI. Lisse des bardages	132
1. Définition.....	132
2. Détermination des sollicitations	132
a. Evaluation des charges et surcharges.....	132
b. Principe de dimensionnement.....	132
3. Exercice	133
Chapitre 5 - Assemblages complexes en construction métallique	137
I. Assemblages poteau/poutre.....	137
1. Assemblages soudés	137
a. Disposition ordinaire et Représentation simplifié.....	137
b. Principe et mécanisme de fonctionnement	137
c. Vérifications des composants : les cordons de soudures	139
d. Vérifications du poteau.....	140
e. Vérification de la résistance de l'âme du poteau au voilement et au cisaillement..	141

2. Assemblages par platine d'about boulonnée	142
a. Disposition ordinaire – Représentation simplifiée.....	142
b. Terminologie et variantes	143
c. Mécanisme et principe de fonctionnement	143
d. Diagramme triangulaire – Boulons normaux	144
II. Assemblages poutre/poutre.....	150
1. Assemblages par soudage.....	150
a. Dispositions ordinaires	150
b. Avantages	150
c. Inconvénients.....	150
2. Assemblages boulonnés.....	151
a. Dispositions ordinaires	151
b. Avantages	151
c. Les précautions d'emploi.....	151
III. Les joints de continuité.....	152
1. Présentation globale.....	152
2. Joint soudé bout à bout	152
3. Joint boulonné bout à bout.....	152
4. Joint avec des plaques d'extrémité	153
IV. Assemblages des poutres treillis.....	154
1. Rappel sur les poutres treillis.....	154
2. Les efforts développés – Approche manuelle.....	154
3. Les systèmes constructifs	155
a. Les treillis boulonnés	155
b. Les treillis soudés	156
c. Les treillis articulés.....	156
d. Les appuis	156
4. Disposition ordinaire pour un encastrement	157
5. Disposition ordinaire pour une articulation	159
6. Les assemblages de treillis	159
a. Attaches soudées.....	159
b. Autre alternative	159
c. Attaches boulonnées	160
d. Les treillis en N et les goussets.....	160
e. Goussets – Treillis en V.....	161
f. Gousset – Joint de faitage.....	161
g. Les barres jumelées	161
6. Les treillis encastrés	164
a. Généralités	164
b. Les assemblages ainsi que leurs modes de ruine	166
V. Le pied de poteau.....	169
1. Pieds de poteaux articulés	169
a. Représentation simplifiée et disposition ordinaire.....	169

b. Vérification de l'articulation	170
2. Différent type de tige	171
3. Pieds de poteaux encastrés	171
a. Poteau noyé dans le béton.....	171
b. Dispositions ordinaires	172
c. Les hypothèses de fonctionnement	172
d. Condition de validité	173
4. Poteau fixé sur une platine	173
a. Platine non raidie	173
b. Platine raidie	174
5. Poteau fixé par un châssis.....	176
6. Calcul bases des poteaux	177
a. Calcul platine	177
b. Calcul les tiges d'ancrages	178
c. Exercice	179
VI. Attaches entre paroi béton et poutre métallique	180
1. Niche ou réservation.....	180
2. Platine d'about.....	181
VII. Exercices	182
1. Exercice 1	182
2. Exercice 2	182
3. Exercice 3	184
4. Exercice 4	184
5. Exercice 5	185
6. Exercice 6	185
7. Exercice 7	186
Annexes.....	186
Bibliographie.....	207
Index.....	209

Liste des figures

Figure 1.1. Plan d'implantation (vue globale).....	19
Figure 1.2. Détail du plan d'implantation.....	20
Figure 1.3. Composition d'un plan d'ensemble (vue globale)	22
Figure 1.4. Agrandissement sur une partie du long-pan file C	23
Figure 1.5. Agrandissement sur une partie du long-pan file 1.....	23
Figure 1.6. Plan de sous-ensemble	24
Figure 1.7. Agrandissement sur une partie de la tête de poteau	25
Figure 1.8. Agrandissement sur une partie de la tête de poteau	26
Figure 1.9. Dessin de fabrication (vue globale).....	27
Figure 1.10. Plan de calepinage (vue globale).....	28
Figure 1.11. Agrandissement sur le pignon de file 1 du plan de calepinage	29
Figure 1.12. Composition de la structure métallique.....	29
Figure 1.13. Types de ferme	31
Figure 1.14. Portiques.....	32
Figure 1.15. Portiques en treillis.....	32
Figure 1.16. Portiques en poutrelles	32
Figure 1.17. Portiques en reconstitué (PRS).....	33
Figure 1.18. Bâtiment à un versant.....	33
Figure 1.19. Bâtiment à deux versants	33
Figure 1.20. Bâtiment à plusieurs versants.....	34
Figure 1.21. Bâtiment à étages	34
Figure 1.22. Cas combiné.....	34
Figure 1.23. Ossature du bâtiment.....	35
Figure 1.24. Portique	35
Figure 1.25. Assemblage entre les composants	36
Figure 2.1. Caractéristiques du boulon.....	37
Figure 2.2. Sollicitations.....	38
Figure 2.3. Vérifications de la résistance à la traction et/ou au cisaillement.....	38
Figure 2.4. Vérification de la pression diamétrale.....	39
Figure 2.5. Rigidité des assemblages boulonnés	39
Figure 2.6. Terminologie, caractéristiques et fonctionnement	39
Figure 2.7. Assemblage par des boulons HR.....	40
Figure 2.8. Assemblage soudé.....	41
Figure 2.9. Bilan des efforts générés au niveau du cordon de soudure	41
Figure 2.10. Cordons frontaux, latéraux et obliques	42
Figure 2.11. Assemblage par rivet.....	43
Figure 2.12. Transmission des efforts	44
Figure 2.13. Transmission des efforts aux attaches	44
Figure 2.14. Modélisation théorique.....	45
Figure 2.15. Exemple de la modélisation des efforts.....	45
Figure 2.16. Classement des assemblages	46

Figure 2.17. Poutres superposées	46
Figure 2.18. Modélisation de la poutre.....	47
Figure 2.19. Modélisation des efforts.....	47
Figure 2.20. Modélisation des efforts avec des raidisseurs	48
Figure 2.21. Cas des pannes en toiture	48
Figure 2.22. Assemblage panne sur la traverse	48
Figure 2.23. Assemblage les liens de pannes sur les pannes	49
Figure 2.24. Assemblage par liernes	49
Figure 2.25. Assemblage des lisses de bardage.....	49
Figure 2.26. Assemblage des lisses de bardage par boulons	50
Figure 2.27. Assemblage par des liens de lisses.....	50
Figure 2.28. Cas des contreventements à treillis horizontaux	51
Figure 2.29. Disposition des diagonales de contreventement.....	51
Figure 2.30. Modélisation des efforts.....	52
Figure 2.31. Dispositions ordinaires.....	52
Figure 2.32. Assemblage des contreventements.....	53
Figure 2.33. Dispositions en X.....	53
Figure 2.34. Dispositions en K.....	54
Figure 2.35. Vérification des boulons	54
Figure 2.36. Vérification des cornières	55
Figure 2.37. Modélisation.....	55
Figure 2.38. Eclisse assemblée par soudage sur le poteau	56
Figure 2.39. Charges appliquées sur la poutre.....	56
Figure 2.40. Fonctionnement de l'assemblage	56
Figure 2.41. Vérification de la résistance poteau	57
Figure 2.42. Efforts à transmettre.....	57
Figure 2.43. Efforts au niveau d'un cordon.....	58
Figure 2.44. Efforts à transmettre.....	58
Figure 2.45. Vérification des boulons	59
Figure 2.46. Vérification de la poutre.....	59
Figure 2.47. Deux cornières boulonnées	60
Figure 2.48. Schéma de l'assemblage par deux cornières	60
Figure 2.49. Cornières en extension	61
Figure 2.50. Fonctionnement des cornières en extension.....	61
Figure 2.51. Modélisation de l'assemblage par des boulons	61
Figure 2.52. Vérification de la résistance des boulons côté poteau.....	62
Figure 2.53. Assemblage à travers un tasseau	62
Figure 2.54. Assemblage à travers des éclisses en cornière et un tasseau.....	63
Figure 2.55. Assemblage de poutres de grande hauteur	64
Figure 2.56. Modélisation de l'assemblage poutre-poutre	64
Figure 2.57. Attache avec une solution sans grugeage.....	65
Figure 2.58. Fonctionnement de l'assemblage	65
Figure 2.59. Modélisation des efforts.....	66
Figure 2.60. Solution d'attache avec grugeage.....	66
Figure 2.61. Résistance en cisaillement.....	66
Figure 2.62. Assemblage par deux grugeages	67

Figure 2.63. Assemblage par deux poutres symétriques	67
Figure 2.64. Résistance à la flexion et en cisaillement.....	68
Figure 2.65. Assemblages à travers doubles cornières	68
Figure 2.66. Tirants	69
Figure 2.67. Câbles.....	69
Figure 2.68. Câbles et tirants.....	69
Figure 2.69. Attaches câbles.....	70
Figure 2.70. Modélisation statique	70
Figure 2.71. Tubes aplatis	71
Figure 2.72. Procédé de fabrication.....	71
Figure 2.73. Types d'aplatissement.....	72
Figure 2.74. Assemblage à fourche	72
Figure 2.75. Assemblage avec plat.....	72
Figure 2.76. Assemblage avec tronçon en T	73
Figure 2.77. Système de Mero.....	73
Figure 2.78. Schéma d'assemblage	74
Figure 3.1. Pressions dynamiques pour la France	79
Figure 3.2. Coefficient de région K_r	81
Figure 3.3. Coefficient de réduction.....	82
Figure 3.4. Type des actions du vent.....	83
Figure 3.5. Parois et versants.....	84
Figure 3.6. Convention de signes	84
Figure 3.7. Parois verticales	84
Figure 3.8. Perméabilité	85
Figure 3.9. Convention de signes	86
Figure 3.10. Construction fermée	86
Figure 3.11. Paroi ouverte au vent.....	87
Figure 3.12. Paroi ouverte sous le vent (normale au vent)	87
Figure 3.13. Paroi ouverte sous le vent (parallèle au vent)	87
Figure 3.14. Construction partiellement ouverte	88
Figure 3.15. Charges de neige NV65	89
Figure 3.16. Charge de neige N84.....	90
Figure 3.17. Schéma de répartition de la charge de neige	91
Figure 3.18. Toiture simple à un versant plan	91
Figure 3.19. Toiture simple à deux versants plans	92
Figure 3.20. Calcul du coefficient μ pour toiture courante et avec dispositif de retenue.....	93
Figure 3.21. Cas 3.....	93
Figure 3.22. Dimension de la charpente	94
Figure 3.23. Calcul C_e pour le cas n°1.....	96
Figure 3.24. Calcul C_e pour le cas n°2.....	96
Figure 3.25. Calcul C_{ife} pour le cas (a)	97
Figure 3.26. Calcul C_{iou} pour le cas (b)	97
Figure 3.27. Calcul C_i pour le cas n°1	98
Figure 3.28. Calcul C_{ife} pour le cas (a)	98
Figure 3.29. Calcul C_{iou} pour le cas (b)	99

Figure 3.30. Calcul C_i pour le cas n°2	99
Figure 3.31. Calcul C_r	100
Figure 4.1. Panne.....	103
Figure 4.2. Modélisation des efforts sur la panne.....	104
Figure 4.3. Liernes et tirants.....	105
Figure 4.4. Charges appliquées sur la panne	107
Figure 4.5. Charge uniformément répartie f sur la panne.....	108
Figure 4.6. Charge uniformément répartie t sur la panne	108
Figure 4.7. Panne isostatique avec une lierne à mi-portée	109
Figure 4.8. Panne faîtière et sablière	111
Figure 4.9. Échantignolle	113
Figure 4.10. Conception technologique des portiques.....	115
Figure 4.11. Schéma statique des portiques	116
Figure 4.12. Détails de liaison : poteaux et traverses	117
Figure 4.13. Sollicitations sur le portique.....	118
Figure 4.14. Cas de charge A	118
Figure 4.15. Cas de charge B.....	119
Figure 4.16. Cas de charge C.....	119
Figure 4.17. Cas de charge D	120
Figure 4.18. Cas de charge E.....	120
Figure 4.19. Cas de charge F	121
Figure 4.20. Cas de charge G	121
Figure 4.21. Sollicitation sur la traverse.....	122
Figure 4.22. Vérification des poteaux au flambement.....	122
Figure 4.23. Jarret.....	123
Figure 4.24. Clés de faitage	124
Figure 4.25. Portique	124
Figure 4.26. Potelet.....	128
Figure 4.27. Vérification à la flèche	128
Figure 4.28. Courbe de flambement	129
Figure 4.29. Potelet de pignon.....	130
Figure 4.30. Modélisation de la lisse de bardage.....	132
Figure 4.31. Lisses de bardage	133
Figure 4.32. Panne dans le plan z-z.....	135
Figure 4.33. Panne dans le plan y-y.....	135
Figure 5.1. Disposition ordinaire de l'assemblage soudé	137
Figure 5.2. Sollicitation sur la poutre	138
Figure 5.3. Sollicitation sur les codons.....	138
Figure 5.4. Sollicitation sur le poteau.....	139
Figure 5.5. Cordons de soudure.....	139
Figure 5.6. Soudure de la semelle inférieure	140
Figure 5.7. Vérifications du poteau	141
Figure 5.8. Assemblage avec des raidisseurs	141
Figure 5.9. Vérification de la résistance de l'âme du poteau.....	142
Figure 5.10. Disposition ordinaire de l'assemblage par platine	142

Figure 5.11. Terminologie de l'assemblage	143
Figure 5.12. Mécanisme de l'assemblage.....	143
Figure 5.13. Diagramme des efforts	144
Figure 5.14. Diagramme triangulaire	144
Figure 5.15. Coefficients de rigidité K_i	145
Figure 5.16. Efforts de décompression.....	145
Figure 5.17. Efforts de traction.....	146
Figure 5.18. Zone tendue, cisailée et comprimée	146
Figure 5.19. Résistance de la zone tendue.....	147
Figure 5.20. Effort appliqué sur le boulon.....	147
Figure 5.21. Disposition des boulons	148
Figure 5.22. Zone comprimée.....	148
Figure 5.23. Zone cisailée	149
Figure 5.24. Renforcement avec jarret	149
Figure 5.25. Disposition ordinaire de l'assemblage poutre /poutre.....	150
Figure 5.26. Disposition ordinaire de l'assemblage boulonné	151
Figure 5.27. Joint soudé bout à bout.....	152
Figure 5.28. Joint boulonné bout à bout	153
Figure 5.29. Joint avec des plaques d'extrémité.....	153
Figure 5.30. Poutre treillis	154
Figure 5.31. Efforts appliqués	154
Figure 5.32. Déformation élémentaire.....	155
Figure 5.33. Treillis boulonné	155
Figure 5.34. Treillis soudé.....	156
Figure 5.35. Treillis articulé	156
Figure 5.36. Les appuis	156
Figure 5.37. Disposition ordinaire pour encastrement.....	157
Figure 5.38. Disposition ordinaire pour une articulation.....	158
Figure 5.39. Solution n°1.....	158
Figure 5.40. Solution n°2.....	159
Figure 5.41. Attaches soudées	159
Figure 5.42. Attaches boulonnées.....	160
Figure 5.43. Treillis en N	160
Figure 5.44. Goussets – Treillis en V	161
Figure 5.45. Gousset – Joint de faitage	161
Figure 5.46. Barres jumelées	161
Figure 5.47. Barres jumelées les moins utilisées.....	162
Figure 5.48. Goussets serrés entre une barre	162
Figure 5.49. Technologie.....	163
Figure 5.50. Règles de bonne construction.....	163
Figure 5.51. Règles de construction selon l'Eurocode 3	164
Figure 5.52. Sollicitations sur les treillis encastrés.....	164
Figure 5.53. Excentricité, recouvrement, espacement entre les barres.....	165
Figure 5.54. Les assemblages en Y et T	165
Figure 5.55. Assemblage en X.....	165
Figure 5.56. Tubes soudés et membrures H	166

Figure 5.57. Diagonales tubes soudés et membrures format tube	167
Figure 5.58. Membrures tube carré	167
Figure 5.59. Problème au niveau de la paroi frontale	167
Figure 5.60. Problème au niveau des barres assemblant les treillis.....	168
Figure 5.61. Mode de ruine	168
Figure 5.62. Organigramme du choix de la liaison	169
Figure 5.63. Disposition ordinaire du pied de poteau articulé.....	170
Figure 5.64. Modélisation de l'articulation	170
Figure 5.65. Différents types de tige	171
Figure 5.66. Poteau noyé dans le béton	171
Figure 5.67. Dispositions ordinaires du poteau noyé	172
Figure 5.68. Hypothèse de fonctionnement.....	172
Figure 5.69. Condition de validité	173
Figure 5.70. Platine non raidie.....	173
Figure 5.71. Raidisseurs au niveau de la continuité de l'âme	174
Figure 5.72. Raidisseurs	175
Figure 5.73. Raidisseurs aux niveaux des bords des semelles.....	175
Figure 5.74. Raidisseurs selon les deux directions	176
Figure 5.75. Poteau fixé par un châssis	176
Figure 5.76. Dimension de la platine.....	178
Figure 5.77. Dimension de tige d'ancrage.....	179
Figure 5.78. Pied articulé.....	179
Figure 5.79. Disposition ordinaire.....	181
Figure 5.80. Schémas du platine d'about	181
Figure 5.81. Attache d'une poutre acier sur une poutre béton existante	182
Figure 5.82. Types de cordon	182
Figure 5.83. Répartition des efforts	183
Figure 5.84. Solutions de la fixation des pannes	184
Figure 5.85. Types de fixation des liernes.....	184
Figure 5.86. Types de fixation de bardage	185
Figure 5.87. Contreventements horizontaux et verticaux.....	185
Figure 5.88. Répartitions des contraintes	186
Figure 5.89. Dispositions des assemblages	187
Figure 5.90. Nomenclature de l'assemblage entre traverse et poteaux	188
Figure 5.91. Type de renforcement	188
Figure 5.92. Solutions d'assemblage entre deux poutres	189
Figure 5.93. Poutre treillis	190
Figure 5.94. Dispositions de l'assemblage	190
Figure 5.95. Assemblage des barres jumelées	190
Figure 5.96. Dispositions d'assemblage des joints de continuité	191

Liste des tableaux

Tableau 2.1. Caractéristique de résistance du boulon ordinaire	37
Tableau 2.2. Caractéristique de résistance du boulon HR	40
Tableau 3.1. Coefficients ψ pour les bâtiments.....	77
Tableau 3.2. Coefficient de site K_s	80
Tableau 3.3. Pression dynamique de base q_{10}	81
Tableau 3.4. Coefficient de site K_s	82
Tableau 3.5. Coefficient C_e pour les toitures soumises à un vent normal aux génératrices.....	85
Tableau 3.6. Charges normales et extrêmes	89
Tableau 3.7. Majoration de la charge de neige en fonction de la pente nominale du fil de l'eau.....	90
Tableau 3.8. Calcul du coefficient μ pour toitures courantes	92
Tableau 3.9. Calcul du coefficient μ pour toiture avec dispositif de retenue	92
Tableau 3.10. Coefficient de réduction δ	101
Tableau 4.1. Réactions d'appui et moments.....	126
Tableau 5.1. L'effet du renforcement sur les éléments de l'assemblage	189
Tableau 5.2. Plans.....	191

Chapitre 1- Conception en construction métallique

Dans le domaine de la construction métallique, la conception, la fabrication et le montage d'un ouvrage reposent sur une série de documents graphiques appelés plans industriels. Ces plans constituent le langage technique commun entre les différents acteurs du projet : ingénieurs, dessinateurs, fabricants, monteurs et maîtres d'ouvrage. Ils traduisent les idées et les calculs en représentations concrètes et détaillées permettant d'assurer la réalisation optimale de chaque étape du projet.

Chaque type de plan répond à un objectif précis dans le processus de conception et de fabrication. Ils sont généralement classés selon leur niveau de détail, leur fonction et leur usage. Voici les principaux types de plans utilisés en construction métallique : Plan d'implantation, plan d'ensemble, plan de sous-ensembles, plan de détail et d'exécution, dessins de définition, plans de calpinage, plan des goussets, etc.

I. Exemple de plan d'implantation

Le plan d'implantation (figure 1.1 et figure 1.2) est le document de base qui positionne l'ouvrage métallique dans son environnement. Il indique l'emplacement exact de la structure sur le site, ses dimensions générales et son orientation.

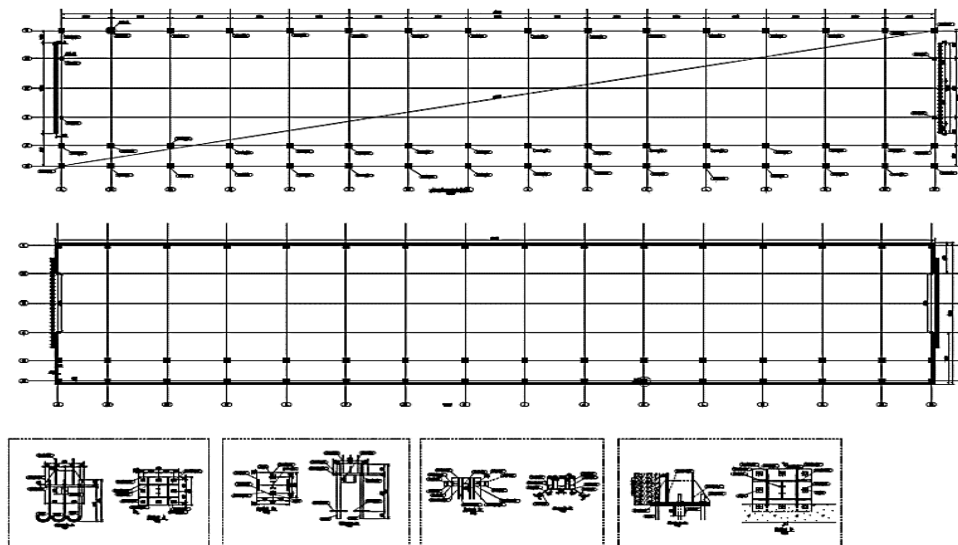


Figure 1.1. Plan d'implantation (vue globale)

2. Convention de représentation dans un plan d'implantation

- sur la vue en plan :

Mise en échelle des distances entre les poteaux ;

La représentation des poteaux en section hors échelle. Utilisation des valeurs respectant les proportions :

- repérer les files (files A, B, C et 1, 2, 3) ;
- cotation des entraxes entre les poteaux.

- dans la descente de charges :

- donner pour les différents types de pied de poteau les charges non pondérées verticales, horizontales et les moments sous les différents chargements.

- dans les détails des pieds de poteaux :

- donner la forme et les dimensions de la réservation, la position et le diamètre de la clé d'ancrage.

II. Exemple de plan d'ensemble

Le plan d'ensemble (figure 1.3) représente la structure métallique dans son intégralité. Il offre une vision globale de l'ouvrage et sert de référence à toutes les étapes du projet.

Le plan d'ensemble se compose pour une structure :

- des vues en élévation des files caractéristiques (portique courant, pignon, long-pan) ;
- de la vue de dessus, plan de la toiture ;
- des différents dessins de détail ;
- de l'échelle habituelle 1/50 ou 1/100.

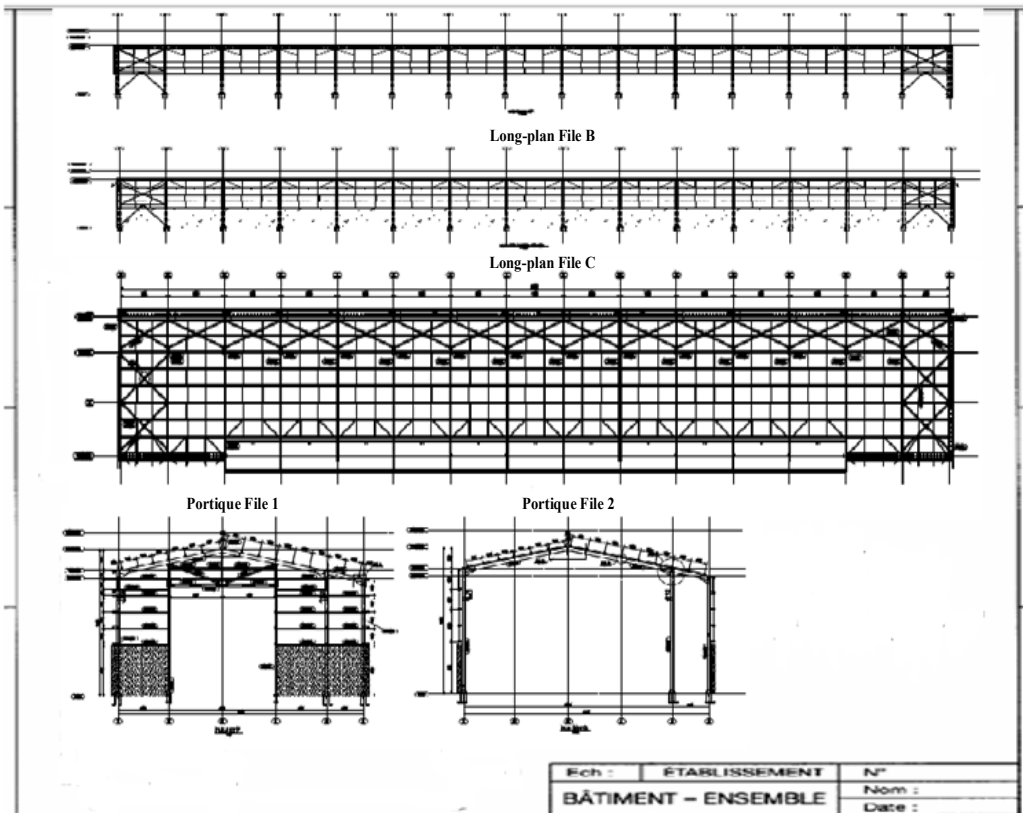


Figure 1.3. Composition d'un plan d'ensemble (vue globale)

1. Conventions de schématisation dans un plan d'ensemble

Conditions de mise à l'échelle des distances entre les axes des différents profils :

- les largeurs et hauteurs des profils en H, U, I, L hors échelle ;
- utilisation des valeurs respectant les proportions ;
- repérer les files ;
- pour faire les vues en élévation des pignons et des longs-pans : observer de l'extérieur du bâtiment ;
- il ne faut dessiner que les profils de la file à représenter ;
- présenter la toiture en plan et non en projection ;
- faire la désignation des profils ;
- cotation des entraxes et des niveaux ;
- mettre un titre sous chaque vue ;
- repérer les différents éléments.

2. Agrandissement sur une partie du long-pan file C

L'agrandissement sur une partie du long-pan file C de la figure 1.3 est présenté sur la figure 1.4.

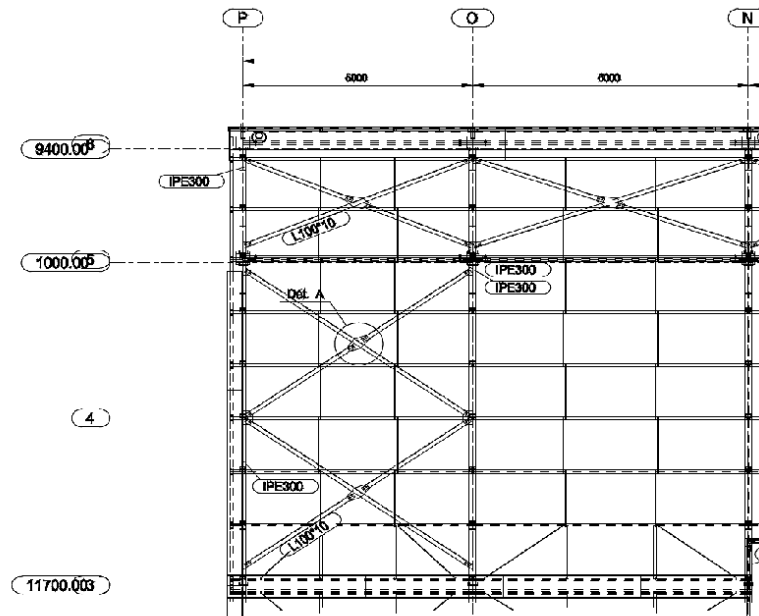


Figure 1.4. Agrandissement sur une partie du long-pan file C

3. Agrandissement sur une partie portique de la file 1

La figure 1.5 présente l'agrandissement sur une partie du long-pan file 1.

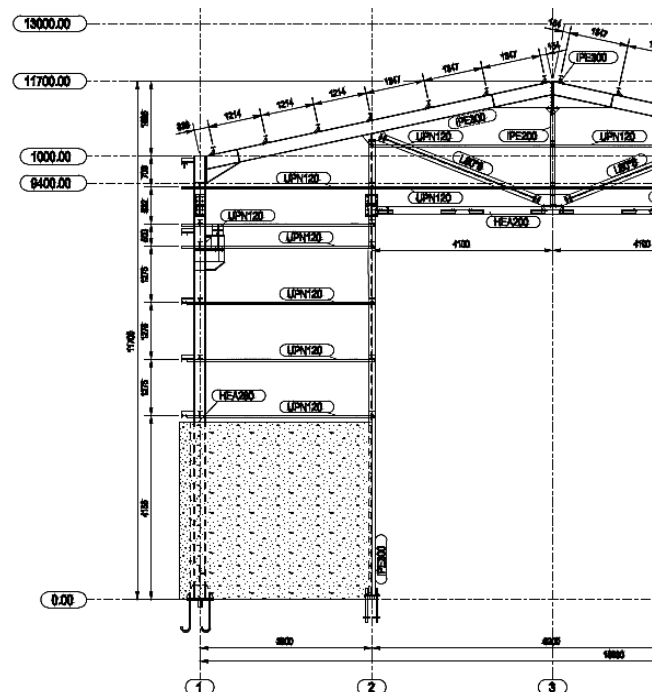


Figure 1.5. Agrandissement sur une partie du long-pan file 1

III. Exemple de plan de sous-ensemble

Les plans de sous-ensembles (figure 1.6) détaillent des parties spécifiques de l'ouvrage, composées de plusieurs pièces métalliques assemblées. Ils se situent entre le plan d'ensemble et les plans de détail.

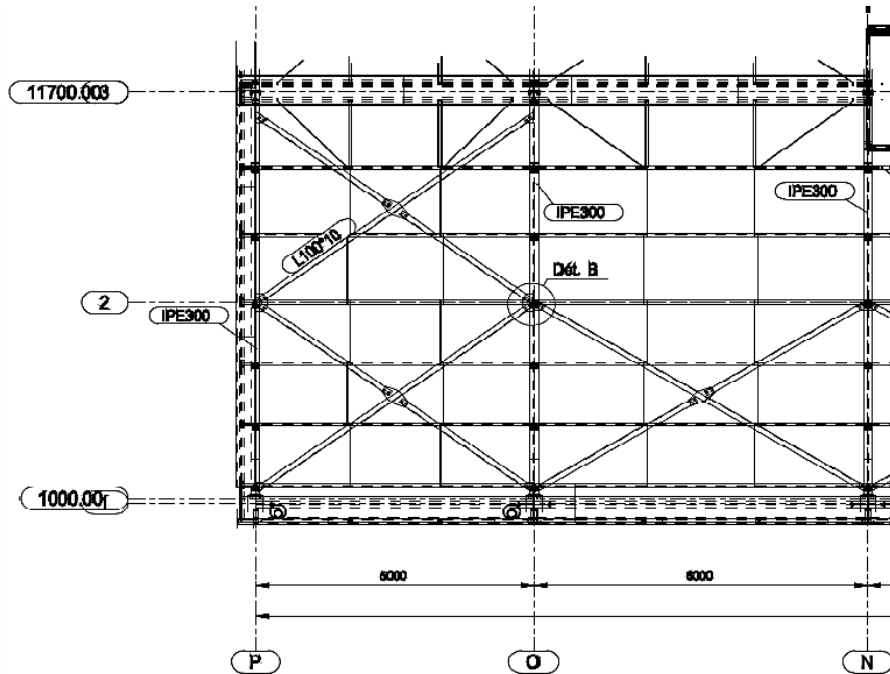


Figure 1.6. Plan de sous-ensemble

► composition d'un plan de sous-ensemble :

le plan de sous-ensemble se compose principalement pour une structure :

- des vues d'un ou plusieurs partis du plan d'ensemble (exp : palée de stabilité) ;
- de vues de détail ;
- échelle couramment utilisée 1/25 ou 1/50.

IV. Exemple de plan de détail

Les plans de détail (ou plans d'exécution) représentent les éléments constitutifs de la structure dans leurs moindres dimensions. Ils constituent des documents de travail essentiels pour les ateliers de fabrication et pour le montage sur chantier.

1. Composition d'un plan de détail

Il se compose des dessins de tous les détails des assemblages repérés sur le plan principal d'ensemble ou des sous-ensembles avec le nombre de vues nécessaire pour

bien comprendre la solution. Il est possible aussi de représenter les vues de détail sur les plans d'ensemble ou de sous-ensemble avec une échelle généralement 1/4 ou 1/5.

2. Conventions de schématisation dans un plan de détail

► les cotes :

Les cotes qui ont des valeurs inférieures à 1 mètre sont exprimées en millimètres celles supérieures à un mètre sont exprimées en mètre. Il faut coter les inclinaisons des barres à travers des triangles cotés.

► les organes d'assemblage :

- les composants d'assemblage sont généralement symbolisés ;
- la représentation des cordons de soudure selon la norme EN 22553 ;
- la représentation des assemblages avec rivets selon la norme EN 04-014.

3. Agrandissement sur une partie de la tête de poteau

La figure 1.7 présente l'agrandissement sur une partie de la tête de poteau.

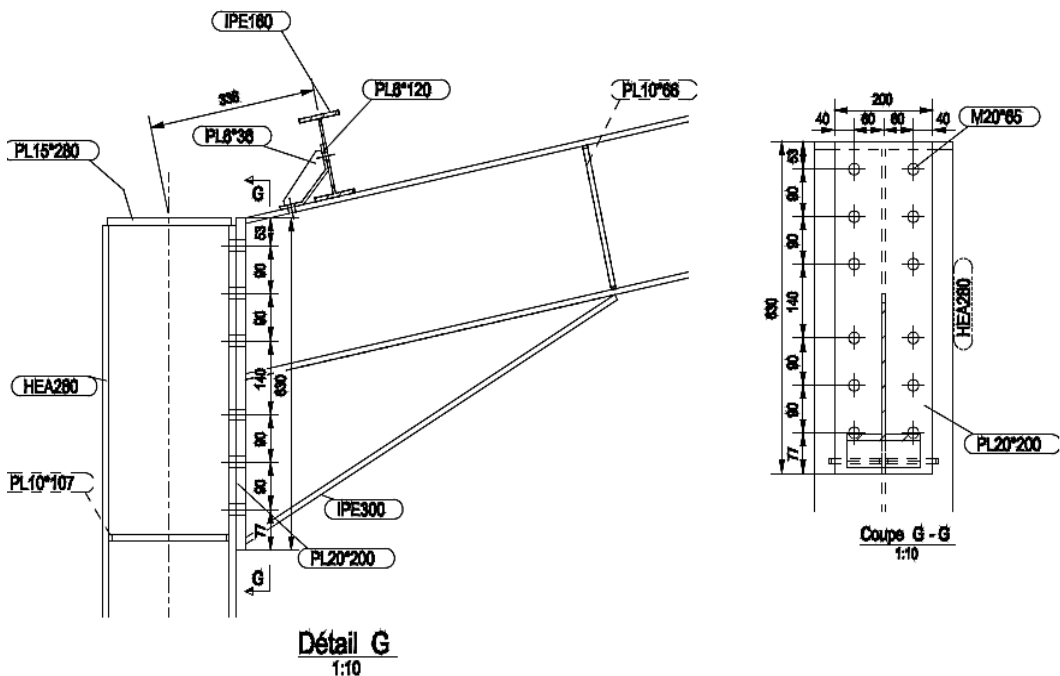


Figure 1.7. Agrandissement sur une partie de la tête de poteau

V. Exemple de dessin de définition

Les dessins de définition (figure 1.8) sont des documents techniques normalisés qui décrivent chaque pièce de manière indépendante, comme un produit à part entière. Ils sont particulièrement importants lorsque des pièces sont fabriquées en série ou sous-traitées.

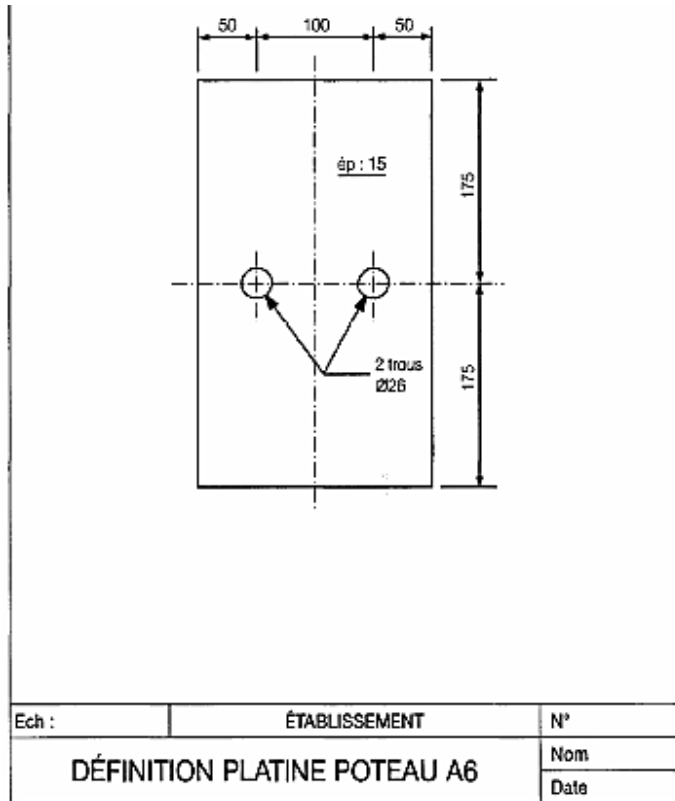


Figure 1.8. Agrandissement sur une partie de la tête de poteau

► composition d'un plan de repérage des éléments :

Les différents types de plans (ensemble, sous-ensemble, détail) aident à repérer les différents éléments. Les plans sont principalement utilisés pour :

- l'assemblage de la structure ;
- établir une nomenclature des composants pour lancer les commandes matières ;
- préparer les dessins de fabrication nécessaires pour réaliser les composants à l'atelier.

VI. Exemple de dessin de fabrication

La figure 1.9 présente le dessin de fabrication.

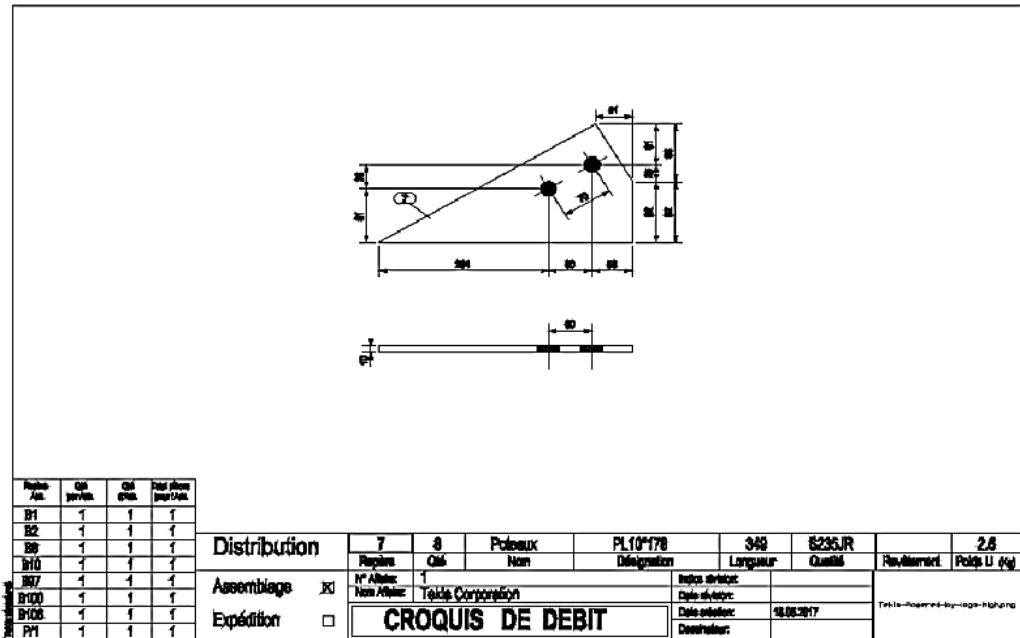


Figure 1.9. Dessin de fabrication (vue globale)

- composition du dessin de fabrication :

Il représente le dessin d'un composant seul avec sa cotation complète nécessaire à la fabrication (la cotation doit être toujours par rapport à un référentiel). Ce dessin est accompli principalement à partir du dessin de définition juste après la phase de transfert des cotes au niveau du bureau d'études. Ce dessin est utilisé pour la réalisation du composant dans l'atelier de fabrication.

Pratiquement les dessins de fabrication sont préparés à partir des plans de repérage des composants sans passer par les dessins de définition, pour gagner du temps. Avec la CAO ces dessins sont obtenus systématiquement à partir du plan d'ensemble.

VII. Exemple de plan de calepinage

Les plans de calepinage (figure 1.10) sont utilisés pour représenter la disposition ordonnée et méthodique des éléments métalliques répétitifs sur une surface donnée.

Ils sont particulièrement utiles pour les structures modulaires, les bardages, les planchers ou les toitures métalliques.

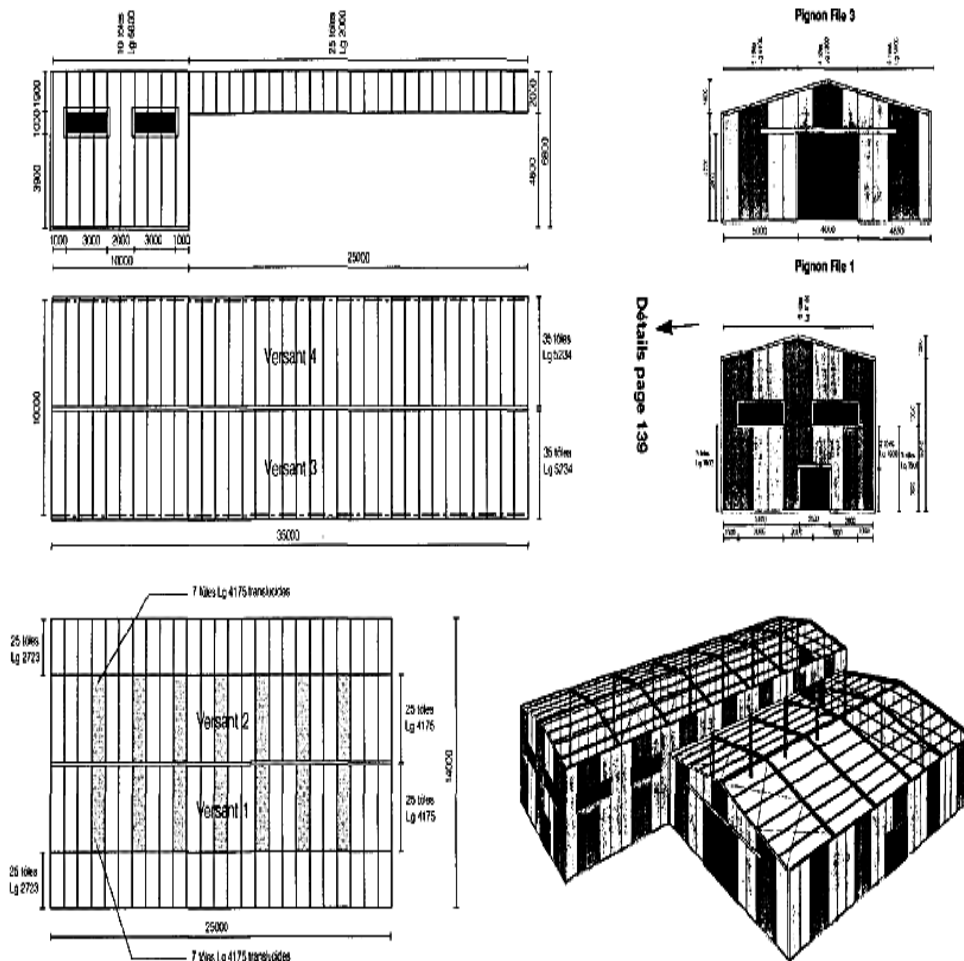


Figure 1.10. Plan de calepinage (vue globale)

1. Composition d'un plan de calepinage

Il représente le dessin de la disposition de surfaces extérieures élémentaires (plaques et tôles) en indiquant le nombre, le type et les dimensions.

2. Agrandissement sur le pignon de file 1 du plan de calepinage

L'agrandissement sur une partie du long-pan file C est présenté par la figure 1.11.

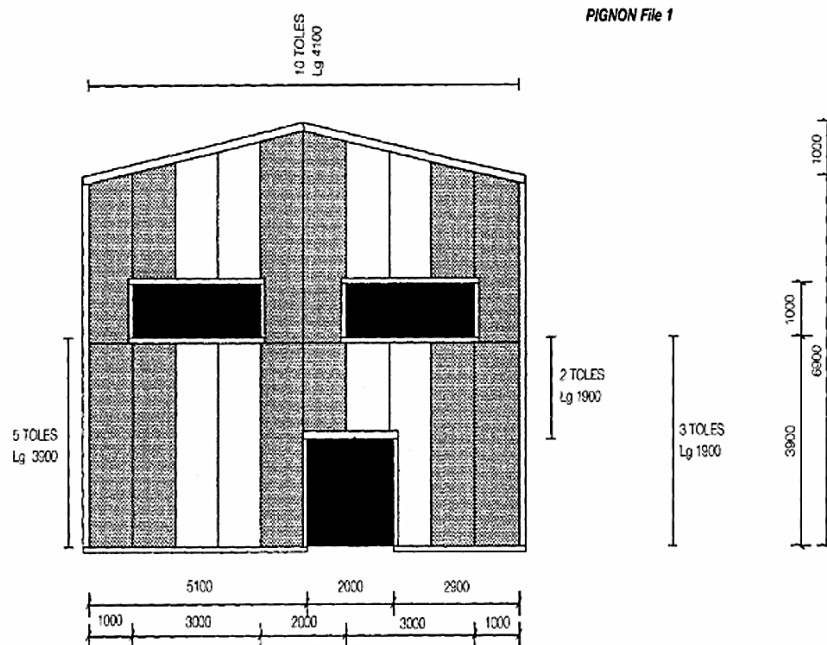


Figure 1.11. Agrandissement sur le pignon de file 1 du plan de calepinage

► lexiques :

La nomenclature est présentée par la figure 1.12.

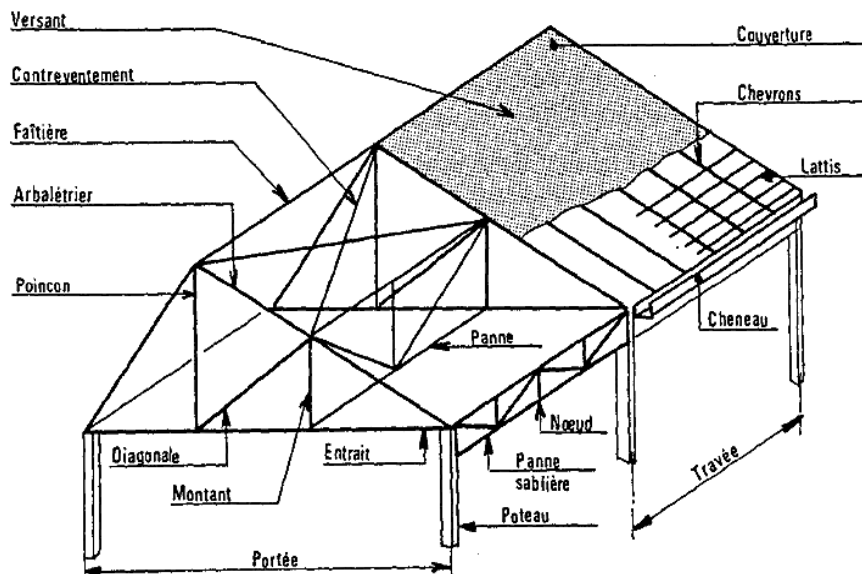


Figure 1.12. Composition de la structure métallique

Aiguille : tige ou barre travaillant à la traction et supportant en son centre le tirant de certaines fermes.

Appentis : toiture à une seule pente adossée à un mur ou à un bâtiment par son bord supérieur (faîtage) et dont le bord inférieur est soutenu par une sablière ou des poteaux.

Arbalétrier : membrure supérieure de la poutre triangulée appelée ferme qui, dans un comble, supporte les pannes et les autres éléments de la toiture.

Arêtier : pièce de charpente placée sous l'arête (intersection de 2 versants) et sur laquelle s'assemblent les autres éléments de la charpente.

Auvent : partie de la toiture d'une halle débordant largement à l'extérieur de la ligne des poteaux supports.

Brisure : changement de direction affectant une barre dans un système de construction quelconque.

Chéneau : canal disposé en bas de pente des toitures et servant à recueillir les eaux de pluie et à les diriger vers les tuyaux de descente.

Comble : partie supérieure (faîte) d'un bâtiment. Volume situé sous les versants de la toiture.

Croupe : versant de toiture permettant de renvoyer les eaux sur les chéneaux ou les gouttières implantés tout au long de la périphérie d'un bâtiment.

Contreventements : dispositif assurant la stabilité d'un bâtiment, d'une ossature et s'opposant à la déformation, au déversement ou au renversement des constructions sous l'action de forces horizontales.

Diagonale : barre placée en diagonale dans les panneaux d'une poutre en treillis ou d'une construction triangulée en général.

Échantignole : sorte d'équerre en fer plat plié servant à assujettir une panne sur un arbalétrier.

Empannon : pièce destinée à diviser en plusieurs portées intermédiaires l'intervalle entre 2 fermes, de manière à réduire la section des pannes.

Entrait : membrure inférieure d'une ferme dans un comble à deux ou plusieurs pentes.

Faîtage : arête longitudinale formée au sommet d'une toiture par la rencontre des 2 versants.

Ferme : poutre généralement triangulée, dont la membrure supérieure, à simple ou double inclinaison règle la pente d'une toiture. Avec les pannes qu'elle supporte, la ferme constitue le principal de l'ossature des combles d'un bâtiment.

Gousset : pièce de tôle plane, sur laquelle viennent s'assembler plusieurs barres convergentes.

Lattis : pièce métallique, généralement en cornière, fixée sur les chevrons parallèlement au faîtage et supportant une rangée de tuiles.

Montant : toute barre, entrant dans la composition d'une charpente métallique en treillis et joignant des membrures dans une direction perpendiculaire à l'une au moins de ces membrures.

Nœud : point où concourent deux ou plusieurs barres d'une ossature en assemblage commun.

Panne : poutre reliant les fermes dans un comble et reportant sur celles-ci les charges et surcharges transmises directement par les éléments de la couverture.

Poinçon : montant central d'une ferme en treillis à 2 pentes.

Poteau : élément vertical d'une ossature collectant les charges et surcharges des poutres qui s'y attachent et les reportant sur l'infrastructure ou les fondations de la construction.

Sablière : panne située à la partie basse d'un versant de toiture près du chéneau.

Solivage : ensemble de solives composant l'ossature d'un plancher.

Toiture : partie supérieure d'un bâtiment. Ensemble de tous les éléments qui ont pour fonction de supporter la couverture.

Versant : plan incliné d'une toiture.

VIII. Types de ferme

Les fermes (figure 1.13) sont des structures triangulées utilisées principalement pour constituer l'ossature des toitures et des grandes portées en construction métallique. Elles permettent de transmettre les charges vers les appuis tout en réduisant le poids de la structure.

Elles sont généralement réalisées à l'aide de cornières à ailes égales ou inégales, de tubes carrés ou ronds, selon les exigences de résistance et d'esthétique du projet. Les différents éléments sont assemblés entre eux par soudage à l'arc électrique, ou par des boulons et rivets, garantissant ainsi la rigidité et la stabilité de l'ensemble.

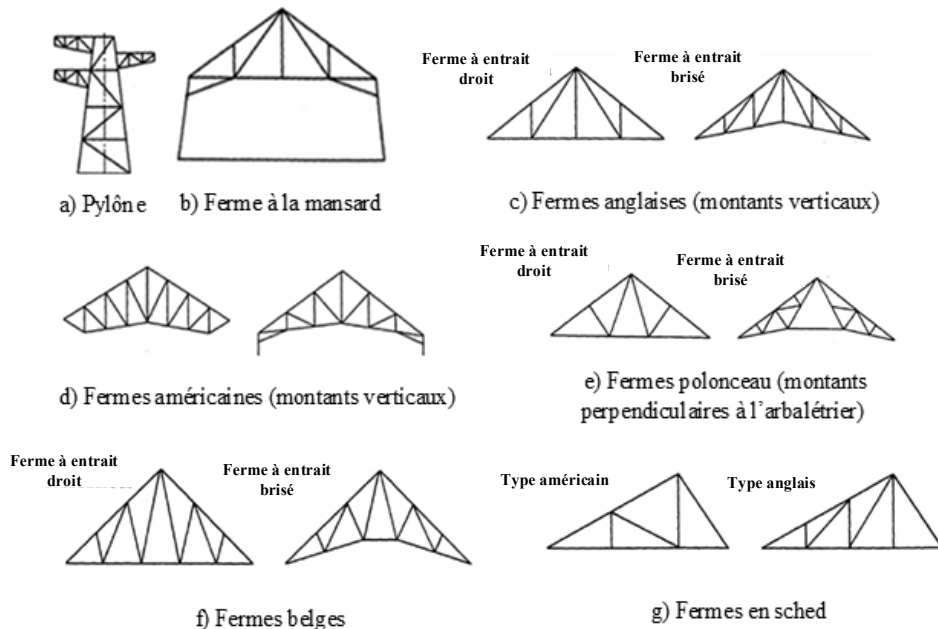


Figure 1.13. Types de ferme