

1.1 STRUCTURE EN CHARPENTE METALLIQUE

1.1.1- Définition

Une structure en charpente métallique est un assemblage d'éléments métalliques sous forme de profilés commerciaux ou de profilés reconstitués soudés (PRS), servant à la construction d'une ossature métallique suivant une forme et une utilisation bien déterminé. La figure 1.1 représente les principaux éléments d'une charpente métallique.

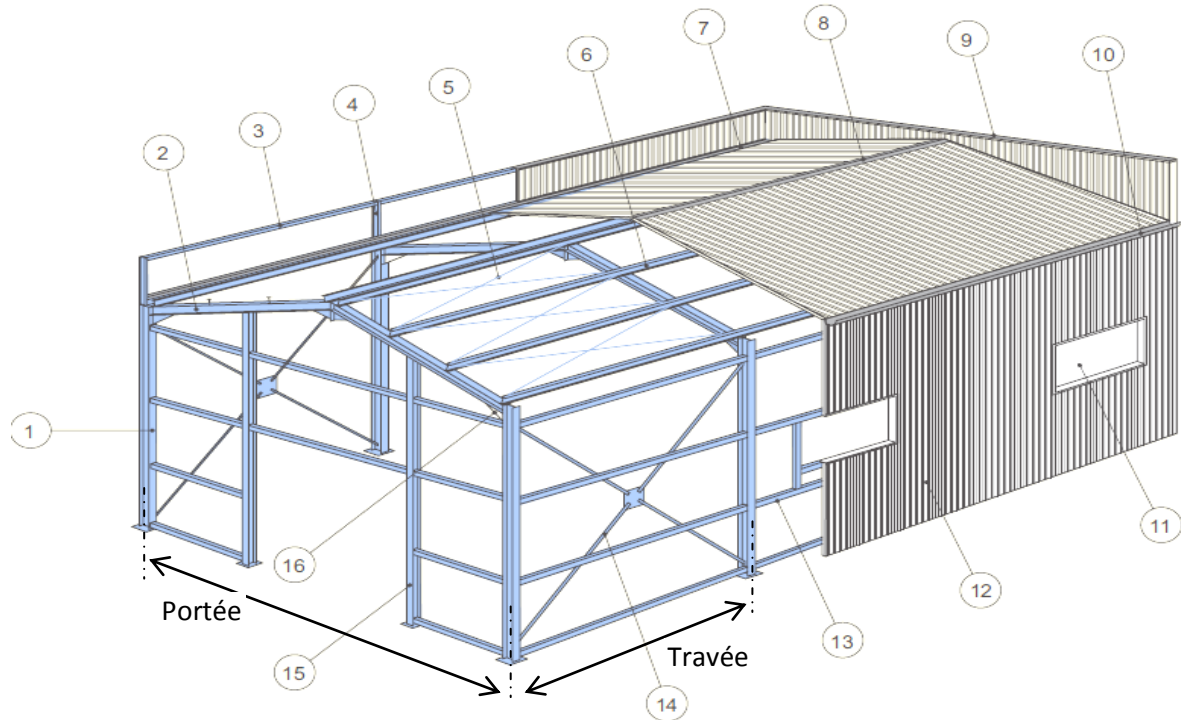


Fig.1.1 : Terminologie des éléments en Construction Métallique.[1]

Les composantes de la charpente de la figure 1.1 sont listées dans le tableau 1.1.

Tab 1.1: Terminologie d'une Structure en Charpente Métallique

1	Poteau (HEA ou IPE)
2	Ferme ou traverse (HEA ou IPE)
3	Lisse filante
4	Baionnette
5	Diagonale de versant
6	Panne (IPE ou IPN)
7	Chêneau en tôle pliée
8	Faitière métallique
9	Couvertine métallique
10	Gouttière 1/2 ronde
11	Chassis vitrée
12	Bardage métallique à ondes verticales
13	Lisse de bardage
14	Croix de stabilité
15	Potelet de pignon (HEA ou IPE)
16	Jarret

1.1.2-Domains d'applications

Les principales motivations qui nécessitent l'utilisation d'une construction en charpente métallique, sont :

- L'utilisation d'un matériaux résistant et ductile tel que l'acier avec ces bonnes propriétés mécaniques,
- Facilité d'usage dans le secteur industriel et du BTP dans la construction des squelettes d'ossatures,
- Courts délais de réalisation des différents types de structure.

Ainsi, les grands domaines d'applications des structures en charpentes métalliques sont très vastes et variés. Ils trouvent leurs mises en œuvre dans la majorité des disciplines suivantes :

- Génie Mécanique : Ponts roulants, grues de levage, portiques, etc... (Fig.1.2),

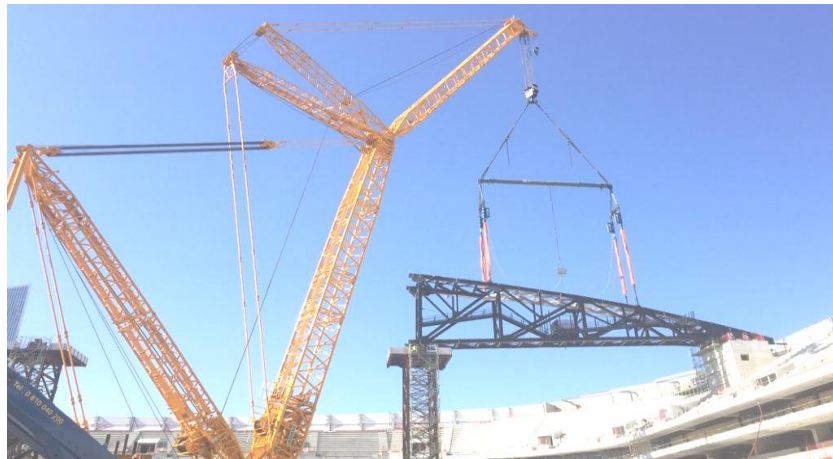


Fig.1.2 : Photo d'une Grue de levage sur chantier [3]

- Génie Electrique : Pylônes de haute tension, de télécommunication, construction des halls pour groupe turboalternateurs ,...etc. (Fig.1.3),



Fig.1.3 : Photo d'un Pylône de ligne électrique haute tension [4]

- Génie Civil : Bâtiments et urbanisation, hangars, usines industriels,...etc. (Fig.1.4),



Fig.1.4 : Photo d'un Bâtiment industriel de grande hauteur [5] [20]

- Génie pétrolier: Derick, les plates formes Offshore, grues portuaires, les grues flottantes, etc...



Fig.1.5 : Photo d'une plate forme pétrolière [6]

1.2 CLASSIFICATION DES CHARPENTES

Les aciers ont les meilleurs caractéristiques mécaniques en matière de résistance et facilité de mise en oeuvre, de ce fait ils offrent un choix multiple dans leurs usages. En effet, on peut citer quatre types de structures qui peuvent englober les besoins d'un point de vue structurale et architecturale.[2]

1.2.1-Charpente en profilés de commerce

Dans le commerce, il ya plusieurs profilés standards qui répondent au choix de formes et de dimensions obtenues après étude et détermination des contraintes selon un cahier de charges préétabli d'avance par le maître de l'ouvrage. On trouve les profilés suivants :

- IPE, UAP et HEA : Ils sont utilisés pour la charpente à charges d'exploitation légères, comme pannes sablières...etc (Fig.1.6) et (Fig.1.7)



Figure 1.6 : Profilés du commerce IPE. [7]

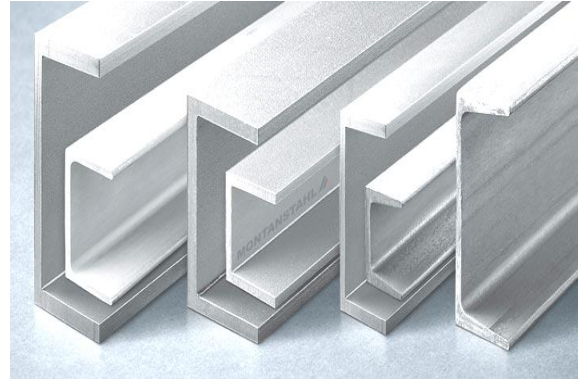


Figure 1.7 : Profilés du commerce UAP. [8]

- HEB : Ils sont employés pour les charges lourdes, comme planchers de reprise, poutres de roulement (Fig.1.8).



Figure 1.8 : Profilés du commerce (HEB) [9]

1.2.2- Charpente en profilés reconstitués soudés [PRS]

Les charpentes en PRS constituent des structures légères et très résistantes ayant une architecture bien pensée et des possibilités architecturales innovantes. Les profilés reconstitués soudés (PRS) sont des profilés dont la forme a été conçue de sorte à optimiser ses performances vis-à-vis des sollicitations (Figure 1.9). Les PRS présentent les avantages :

- De résistance : optimisation du profilé par rapport aux sollicitations,
- Architecturaux : libération d'espace, grande portée possible, plus esthétique que les poutres treillis,
- Economiques : gain de masse, diminution du nombre d'assemblage.

Par contre en matière d'inconvénients, le recours au PRS entraîne des surcoûts par rapport à une structure classique et cela en :

- Etude : le dimensionnement d'une pièce unique en fonction de charges propres est plus long que pour un cas classique,
- Fourniture : la fabrication de la pièce étant unique, ce qui fait augmenter le temps de fourniture de la pièce. Ce surcoût peut être très variable selon le type de PRS,
- Fabrication : assemblage et usinage parfois complexe.



Figure 1.9 : Structure Métallique en PRS [10].

1.2.3-Charpente en treillis

Les treillis sont très largement utilisés en construction des structures en charpente métallique. Ce sont des structures dont les pièces sont assemblées de façon à former des triangles. Ce dernier, a été pris comme base de ces constructions parce qu'il est la seule entité indéformable du point de vue géométrique (Figure 1.10). L'utilisation de treillis a pour objectif de minimiser le poids de la structure et maximiser la rigidité. Ils se retrouvent comme fermes de toitures, ossatures de ponts, de grues, de ponts roulants et de pylônes, ...etc.

On fait appel à ce mode de réalisation dans le but essentiel d'alléger l'ensemble d'une construction tout en assurant une plus grande stabilité. Cependant, les structures en treillis entraînent des surcoûts principalement en :

- Fourniture : (selon les profilés utilisés pour le treillis),
- Fabrication : En atelier les treillis sont soudés, ce qui augmente considérablement le temps de fabrication,
- Montage : Profilés pré assemblés, nécessitant souvent plusieurs équipes de montage et moyens de levage.



Figure 1.10: Pont en Treillis [11]

1.2.4-Charpente en éléments tubulaires

Les structures tubulaires sont composées de profilés en rond creux (Figure 1.11). Pour avoir un bon appuis des montants, les poteaux sont munis de raidisseurs. Ce genre de construction est choisis pour des raisons architecturales mais le surcoût de sa réalisation en fourniture, fabrication et montage la rend délicate et onéreuse.



Figure 1.11: Structure Tubulaire [12]

1.3 - AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Une structure en charpente métallique présente les avantages suivants :[2]

- La qualité de résistance et de tenacité de l'acier par rapport à son poids rend la structure plus légère même si elle est volumineuse,
- L'acier possède une structure interne homogène et uniforme cela implique constance des propriétés mécaniques dans toute la structure,
- L'élasticité de l'acier offre à la structure une bonne tenue aux charges dynamiques,
- La possibilité de standardisation des pièces de la charpente métallique vue leurs ressemblances et des changements possibles,
- Un large éventail d'application en matière de forme géométrique implique plusieurs choix et desirs architecturaux (besoins d'esthétiques),
- Une meilleure durabilité avec les moyens existant de protection (revêtement, peinture).
- La facilité de montage et de démontage de la structure,
- La rapidité de la mise en oeuvre,
- La récupération et la réutilisation des éléments de la structure après démontage.

Parcontre l'inconvénient majeur est la mauvaise résistance à la corrosion d'une structure en acier y compris leur mauvaise résistance au feu. En plus, de La résonance élevée qui implique une faible isolation acoustique.

Une structure en acier représente, aussi, une faible isolation thermique due aux effets des dilatations non négligeables et à une conductivité thermique élevée .

1.4 - DESCRIPTION DES ELEMENTS D'UNE CHARPENTE METALLIQUE

1.4.1- Les fermes

1.4.1.1- Définition

La ferme, est l'élément principal du comble, elle possède une forme triangulaire préfabriquée en profilés, renforcée intérieurement par des montants et des diagonales (éléments barres), assemblés dans des points appelés noeuds (Figure 1.12). Ces barres (montants et diagonales) sont sollicités seulement à la traction et/ou à la compression.

Dans une charpente métallique, la ferme, est posée sur des murs porteurs, sur des poteaux, ou sur les pannes sablières par l'intermédiaire de goussets.

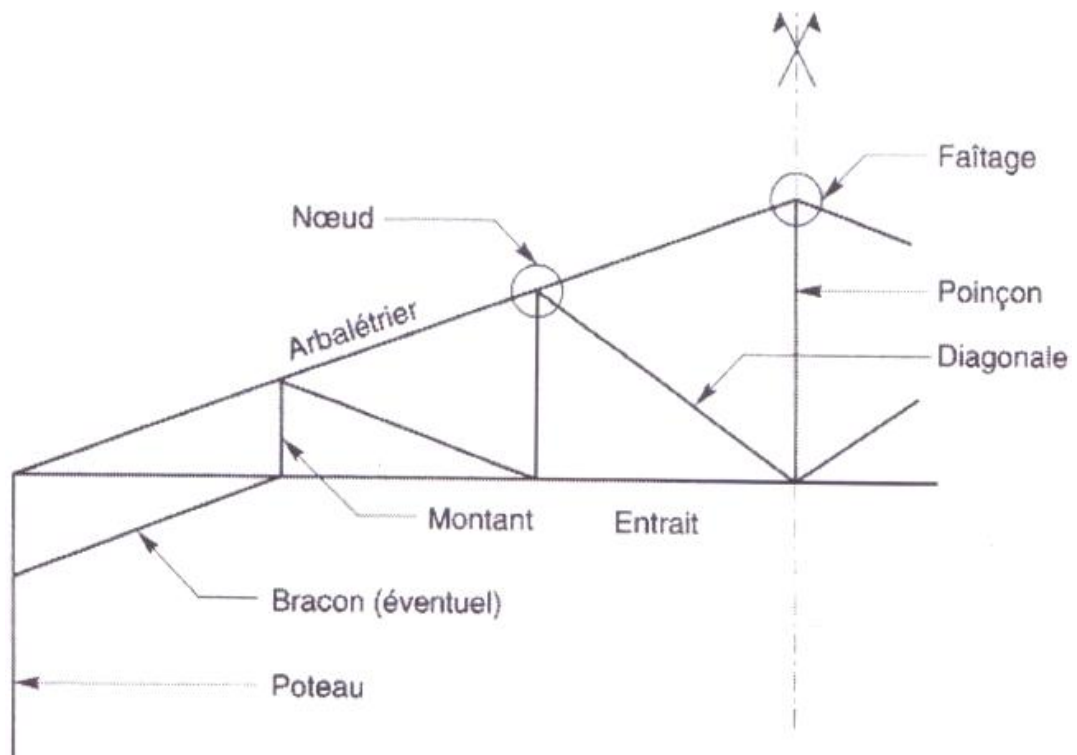


Figure 1.12: Partie gauche d'une ferme triangulaire [13]

On trouve deux sortes de fermes :

- Fermes classiques : comme la ferme triangulaire, trapézoïdal et la ferme à versants brisés (Figure 1.13),

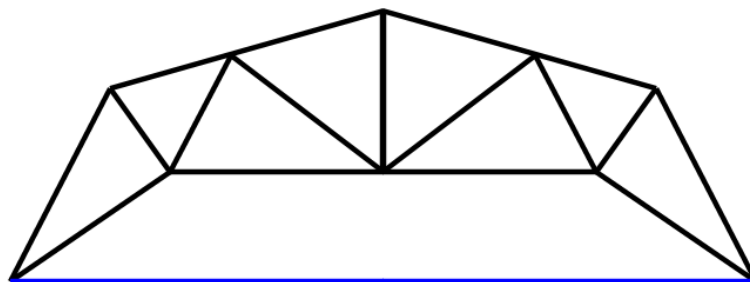


Figure 1.13: Ferme à versants brisés [14]

- Fermes spéciales : comme la ferme Anglaise, la ferme Belge, la ferme Américaine, la ferme Polonceau et la ferme Shed ...etc.(Figure 1.14)

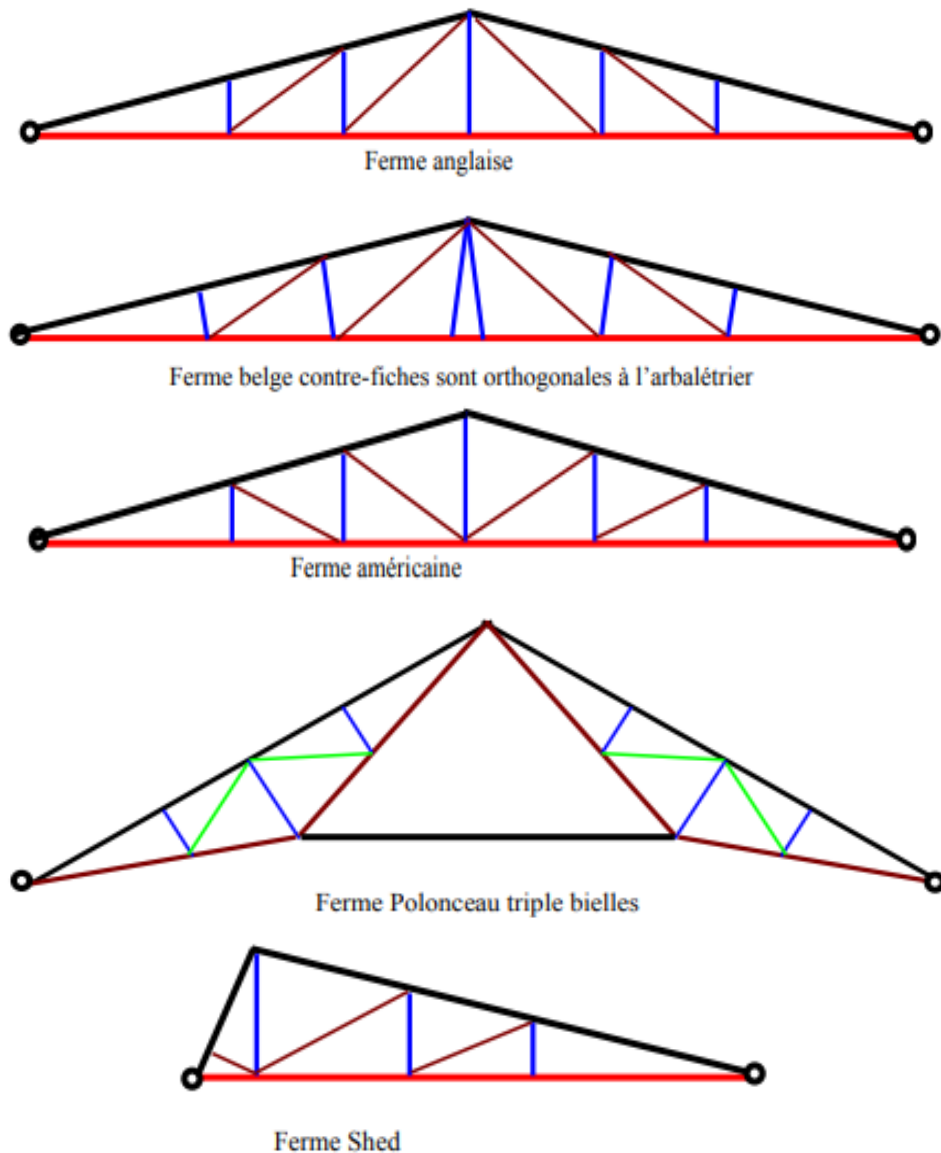


Figure 1.14: Fermes spéciales [15]

1.4.1.2- Critères de choix d'une ferme

Vu l'existence de différents types de fermes, pour sélectionner un type précis, on s'appuie sur les critères de choix suivants :

- Utilisation ou non du comble ;
- Portée de la structure ;
- Débord de toiture ;
- Pente du toit ;
- Poids de la couverture ;
- Poids des plafonds.

1.4.2- Les pannes

1.4.2.1 Description

Dans une construction en charpente métallique, l'élément panne fait partie de la toiture, il représente le deuxième élément principal du comble après les fermes.

La panne se présente comme étant une structure métallique unidimensionnelle, ayant la configuration d'une poutre droite à section constante normalisée. Cette poutre est appuyé sur des traverses(fermes), sa fonction principale est de supporter les charges propres et les charges d'exploitations de la structure.

Elles sont destinées à transmettre les charges et surcharges qui s'appliquent sur la couverture (toiture ou plancher), aux appuis (traverses ou fermes). Elles font partie de la famille des produits longs laminés à chaud et sont réalisées en série de profilé IPE, IPN, UAP et UPN comme le montre la figure 1.15.

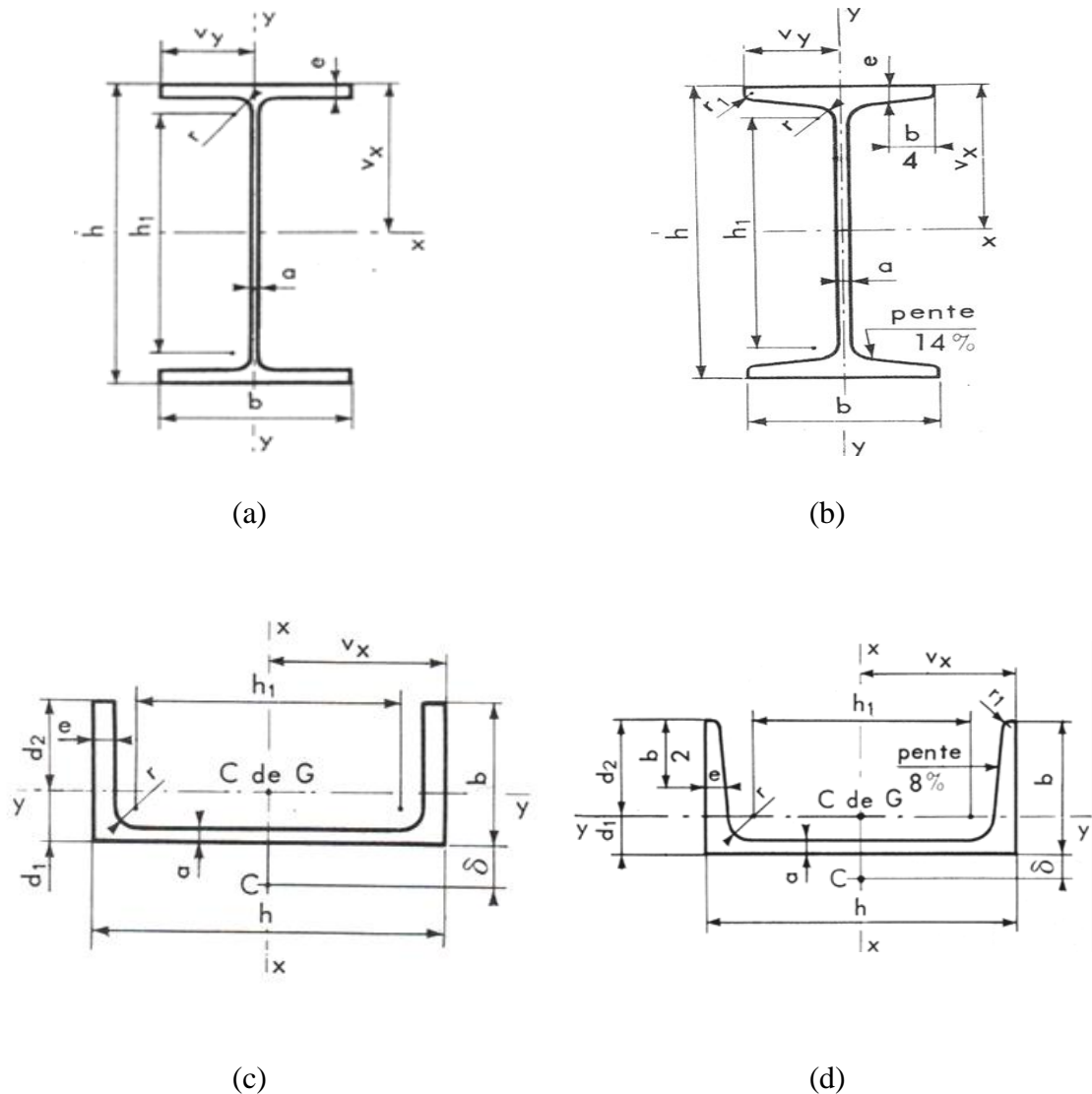


Figure 1.15: Types de section des Profilés pour les pannes [16]

a) Profilé IPE, b) Profilé IPN, c) Profilé UAP, d) Profilé UPN

1.4.2.2 Pose et fixation d'une panne

La pose et la fixation des éléments pannes sur les traverses (fermes) dans les structures en charpente métallique servent à la formation des liaisons (jonctions) d'assemblages. Ces jonctions ont un double rôle, d'un côté permettre la construction spatiale de la structure et en autre, assurer la stabilité de l'ensemble.

Les pannes sont assemblées aux fermes par l'intermédiaire d'échantignoles (Figure.1.16). Soit par boulonnage ou par soudage (liaison indémontable). Cette liaison assure une bonne transmission et répartition des efforts au niveau du comble.

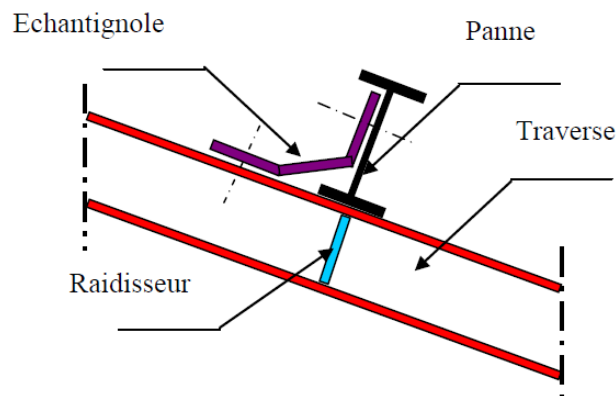


Figure 1.16 : Assemblage d'une panne sur une ferme. [15]

1.4.3- Les poteaux

Les poteaux sont des éléments de charpente utilisés en construction métallique comme supports d'ossatures. Ils travaillent donc essentiellement en compression et ils sont contraints au flambement pour des portées importantes.

1.4.3.1-Types de Poteaux

- **Sections en I et H (laminés à chaud)** : c'est la forme la plus courante et la plus économique. Convient particulièrement bien au raccordement de poutres dans les deux directions. (Figure 1.17).

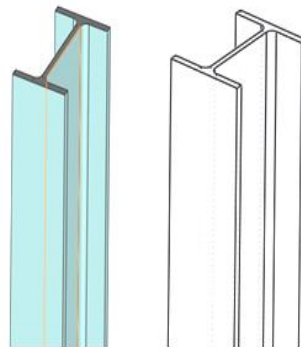


Figure 1.17: Section en I et H

- **Sections caissonnées et sections pleines en acier** : Conviennent pour des poteaux avec fortes charges, section de dimensions réduites. En raison de la surface extérieure lisse, de préférence sans enrobage (Figure 1.18).

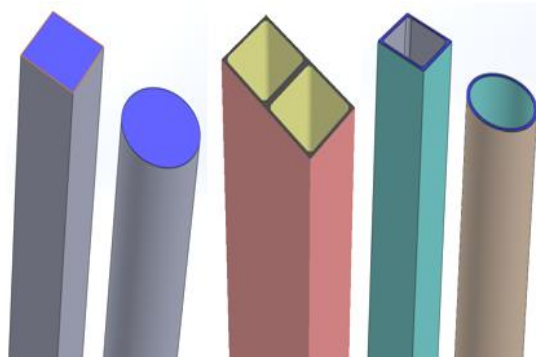


Figure 1.18: Section en caisson et pleine

- c -Profils creux**: Les caractéristiques mécaniques des profilés de dimensions extérieures identiques peuvent être graduées par la variation de l'épaisseur des parois. Le remplissage en béton augmente la résistance mécanique et la résistance au feu. (Figure 1.19).

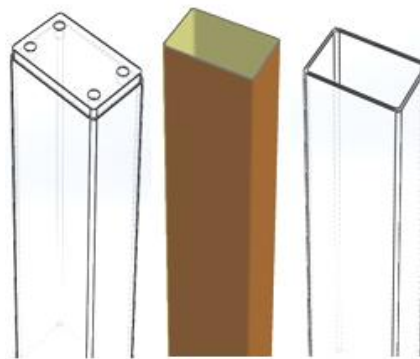


Figure 1.19: Section en profilés creux

- d-Les poteaux composés** : Les poteaux composés sont formés de plusieurs profilés creux-ci sont assemblés ; soit par des cornières en treillis (en V ou en N), soit par des fers plats. On peut aller jusqu'à 30m de portée avec ce type de poteau. Ils prennent différentes formes en plan, suivant la disposition des membrures. (Figure 1.20).

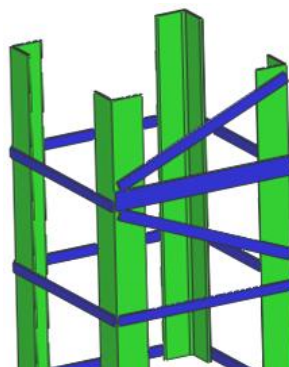


Figure 1.20: Poteaux composés

1.4.3.2-Pieds de Poteaux

Les pieds de poteaux forment la Partie inférieure du poteau reliée a la fondation. Ils peuvent être articulés, encastrés ou simplement appuyés (Figure 1.21). Leur rôle est de répartir les charges supportées sur la surface de la fondation. La liaison des poteaux aux fondations doit être rigide afin de résister aux différents efforts appliqué et par conséquent assuré l'encrage et la stabilité de l'ouvrage.

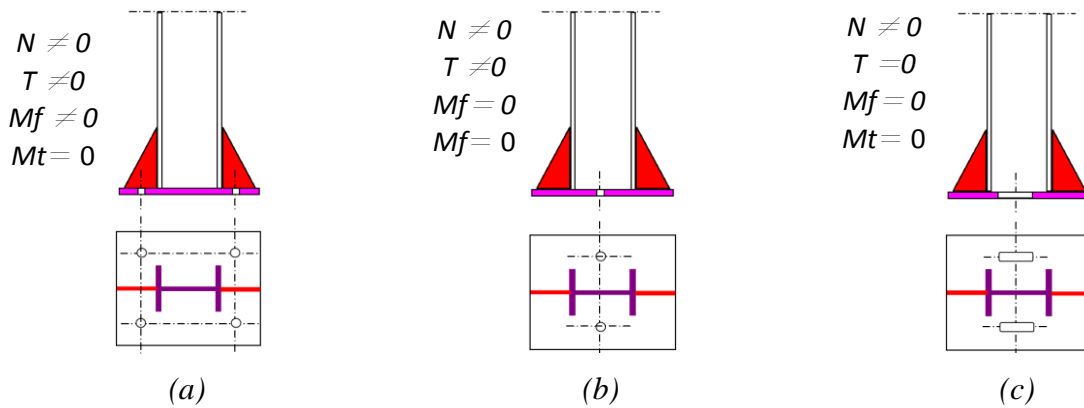


Figure 1.21: types de liaisons poteaux avec fondation [15]

a) encastrement 4 à 6 boulons ; b) appui articulé ; c) appui simple

1.4.3.3-Types et moyens d'ancrage des Poteaux

Les poteaux sont ancrés à la fondation (sol) par boulonnage et par l'intermédiaire de tiges d'encrages qui sont disposées dans l'alvéole d'ancrage de différentes façons (Figure 1.22)

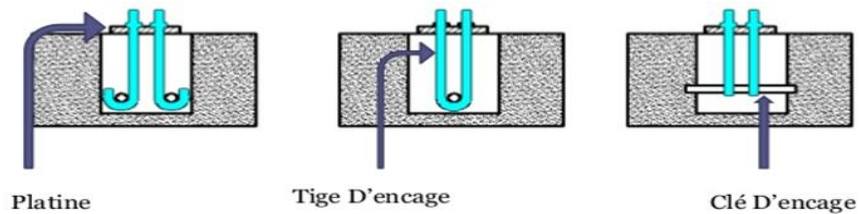


Figure 1.22: Dispositions des tiges d'encrages [17]

Les Tiges d'ancrages c'est des barres en acier haute résistance, travaillant à la traction. Elles sont de formes droites ou courbées a leurs extrémités (Figure 1.23) pour s'acrocher a une barre horizontale appelée la clé d'ancrage qui est encastrée dans le béton de la fondation.

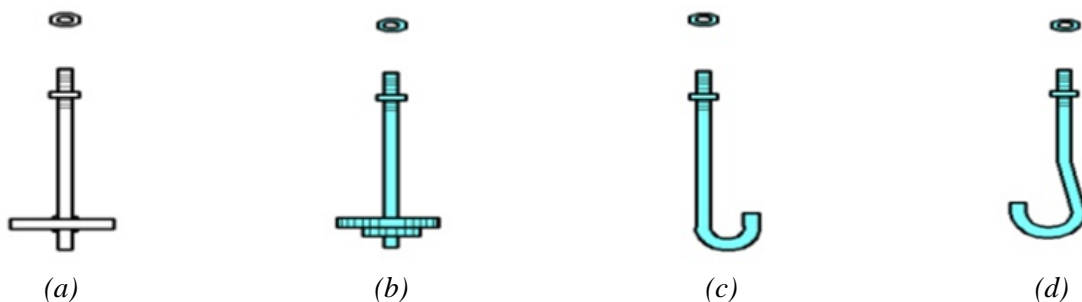


Figure 1.23 : Types de tige d'encrage [17]

a) Tige à tête de marteau, b) Tige à tête circulaire, c) Tige à tête courbé, d) Tige à tête contre courbé

La platine d'extrémité (Figure 1.24); C'est un plat d'acier rectangulaire soudé à l'extrémité du profilé de poteau et dont l'épaisseur ne peut excéder de beaucoup l'épaisseur de l'âme du poteau.

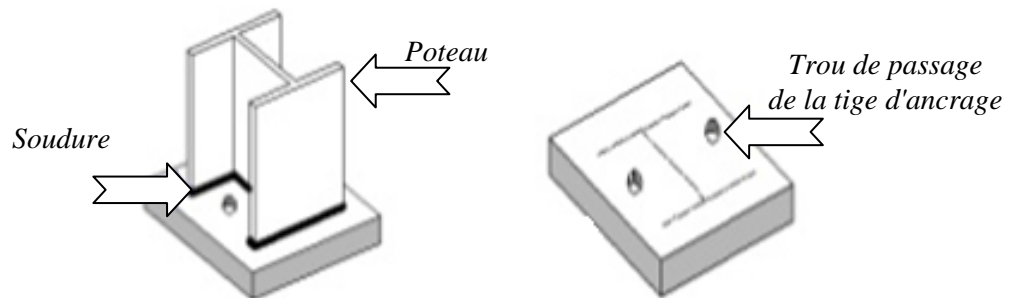


Figure 1.24: La platine d'extrémité [17]

1.4.4- Les éléments de stabilité ou contreventements

1.4.4.1. Définition

On entend par contreventement, tout dispositif assurant la stabilité d'une ossature vis-à-vis des efforts horizontaux (vent, ponts roulants, poussée des terres, ...) et par extension ceux assurant la stabilité transversale (flambement, déversement) de certaines parties de l'ouvrage.

1.4.4.2 Notion de stabilité

Un ouvrage sera stable si, quelques soient les efforts qu'il sera amené à subir, directs ou dérivés, provisoires normaux ou exceptionnels, ne pourra ni s'effondrer, ni se renverser mais également si les déformations et les déplacements seront suffisamment faibles pour ne pas nuire à la poursuite de son exploitation.

Assurer la stabilité d'une structure spatiale comme l'ossature d'une charpente métallique consiste à la rendre stable statiquement et dynamiquement, cela revient à essayer de faire transiter les efforts par les éléments rigides de la construction et les acheminés jusqu'aux appuis.(fondation).

On peut citer comme éléments de contreventement les croix, les cadres et les systèmes de treillis qu'on peut les placer dans la toiture et sur la face longitudinale et transversale.(Figure 1.25)

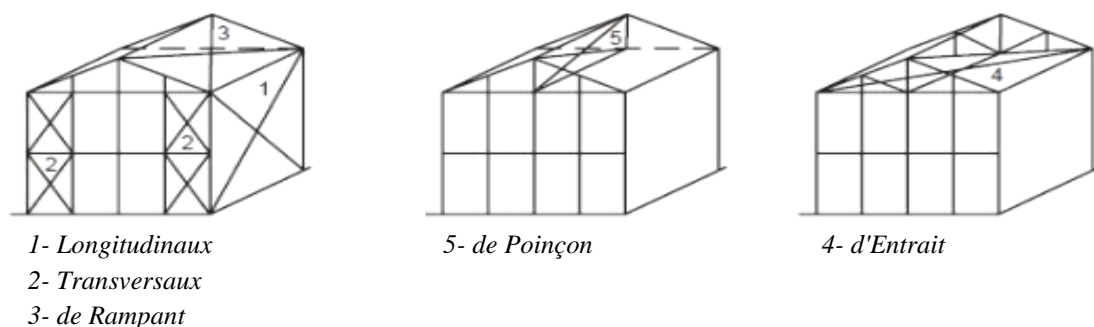


Figure 1.25: Contreventements dans une structure en charpente métallique [18]

1.4.5- Bardages

Les bardages dans une charpente métallique constituent la couche superficielle extérieure du bâtiment, généralement composée de bois, de métal ou de matériaux composites. Ils assurent à la fois la résistance mécanique, l'étanchéité, l'isolation thermique, l'isolation acoustique et enfin l'esthétique. En matériaux métalliques on distingue deux types de bardage :

- Bardage simple peau : Il s'agit d'une simple paroi en tôle, composée de plaques profilées ou ondulées, en acier ou en aluminium, dont les nervures peuvent être disposées verticalement, obliquement ou horizontalement.
- Bardage double peau : Une telle façade est composée de deux parements en tôle profilée, généralement de grande longueur, disposés de part et d'autre d'un matériau isolant. (Figure 1.26)

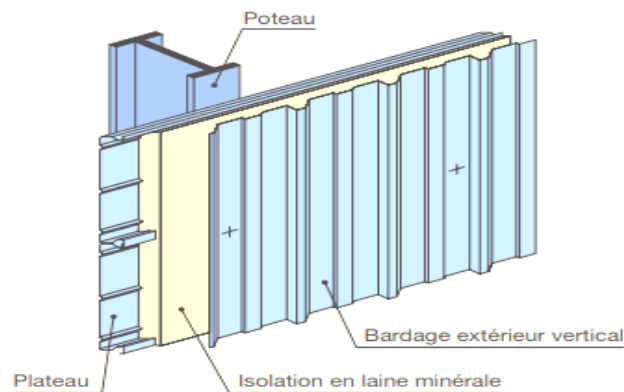


Figure 1.26: Les éléments d'un bardage double peau. [19]

1.4.6- Toitures (Couvertures)

L'acier est très fréquemment utilisé comme toitures. Il peut servir de support d'étanchéité aux toitures plates ou à faibles pentes, permettant un net gain de poids par rapport à une dalle en béton armé. Les couvertures équipant la grande majorité des bâtiments métalliques sont de deux types :

- Couverture simple en tôles ondulées. (Figure 1.27 a)
- Couverture en bacs d'acier nervurés. (Figure 1.27 b)

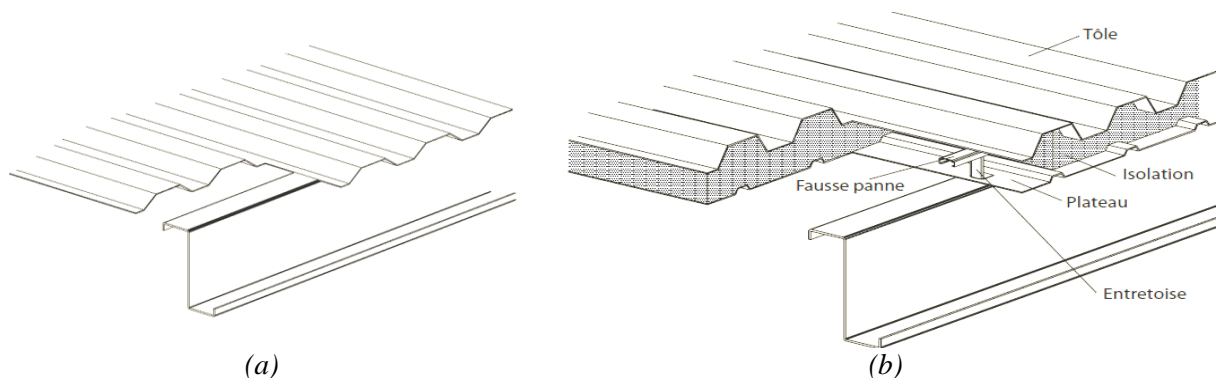


Figure 1.27: Les éléments de la toiture [20]

a) couverture simple ; b) couverture en bac d'acier

1.5 - MATERIAUX UTILISES EN CHARPENTE METALLIQUE

1.5.1-Nuances d'Aciers.utilisés en charpente métallique

Les nuances des aciers utilisés en construction métallique et mécanique sont portées sur le tableau 1.2

Tableau 1.2: Aciers selon les Normes NF EN 10025 et NF EN 10027 [21]

Nuance	R _{min}	Re _{min}	Emplois
S 185	290	185	Acier à usage général
S 235	340	235	
S 275	410	275	
S 335	490	355	
E 295	470	295	Acier de construction mécanique
E 335	570	335	
E 360	670	360	
R _{min} : Résistance minimale à la rupture en [Mpa]			
Re _{min} : Résistance minimale apparente d'élasticité en [Mpa].			

1.5.2-Correspondance entre les aciers utilisées en charpente métallique

Le tableau 1.3 et le tableau 1.4 représentent la comparaison des aciers utilisées en charpente métallique selon certaines normes.[22]

Laminé à chaud

Limite d'élasticité [Mpa]	Désignation selon EN 10025-2:2004		Désignation selon EN 10025:1990 +A1:1993		France	Allemagne
	Symbolique	Numérique	Symbolique	Numérique		
	NF EN 10025 NF En 10027-1	NF EN 10025 NF En 10027-2	NF EN 10025 NF En 10027-1	NF EN 10025 NF En 10027-2	NF A 35-501	DIN 17100
185	S 185	1.0035	S185	1.0035	A 33	St 33
235	-	-	S235JR	1.0037	E24-2	St.37-2
	-	-	S235JRG1	1.0036	-	USt 37-2
	S235JR	1.0038	S235JRG2	1.0038	-	RSt 37-2
	S235JO	1.0114	S235 JO	1.0114	E 24-3	St 37-3U
	S235J2 +N	1.0117 +N	S235J2G3	1.0116	E 24-4	St 37-3N
	S235J2	1.0117	S235J2G4	1.0117	-	-
275	S275JR	1.0044	S275JR	1.0044	E 28-2	St 44-2
	S275JO	1.0143	S275JO	1.0143	E 28-3	St 44-3U
	S275J2 +N	1.0145 +N	S275J2G3	1.0144	E 28-4	St 44-3N
	S275J2	1.0145	S275J2G4	1.0145	-	-
355	S355JR	1.0045	S355JR	1.0045	E 36-2	-
	S355JO	1.0553	S355JO	1.0553	E 36-3	St 52-3U
	S355J2 +N	1.0577 +N	S355J2G3	1.0570	-	St 52-3N
	S355J2	1.0577	S355J2G4	1.0577	-	-
	S355K2 +N	1.0596 +N	S355K2G3	1.0595	E 36-4	-
	S355K2	1.0596	S355K2G4	1.0596	-	-
295	E295	1.0050	E295	1.0050	A 50-2	St 50-2
335	E335	1.0060	E335	1.0060	A 60-2	St 60-2
360	E360	1.0070	E360	1.0070	A.70-2	St 70-2

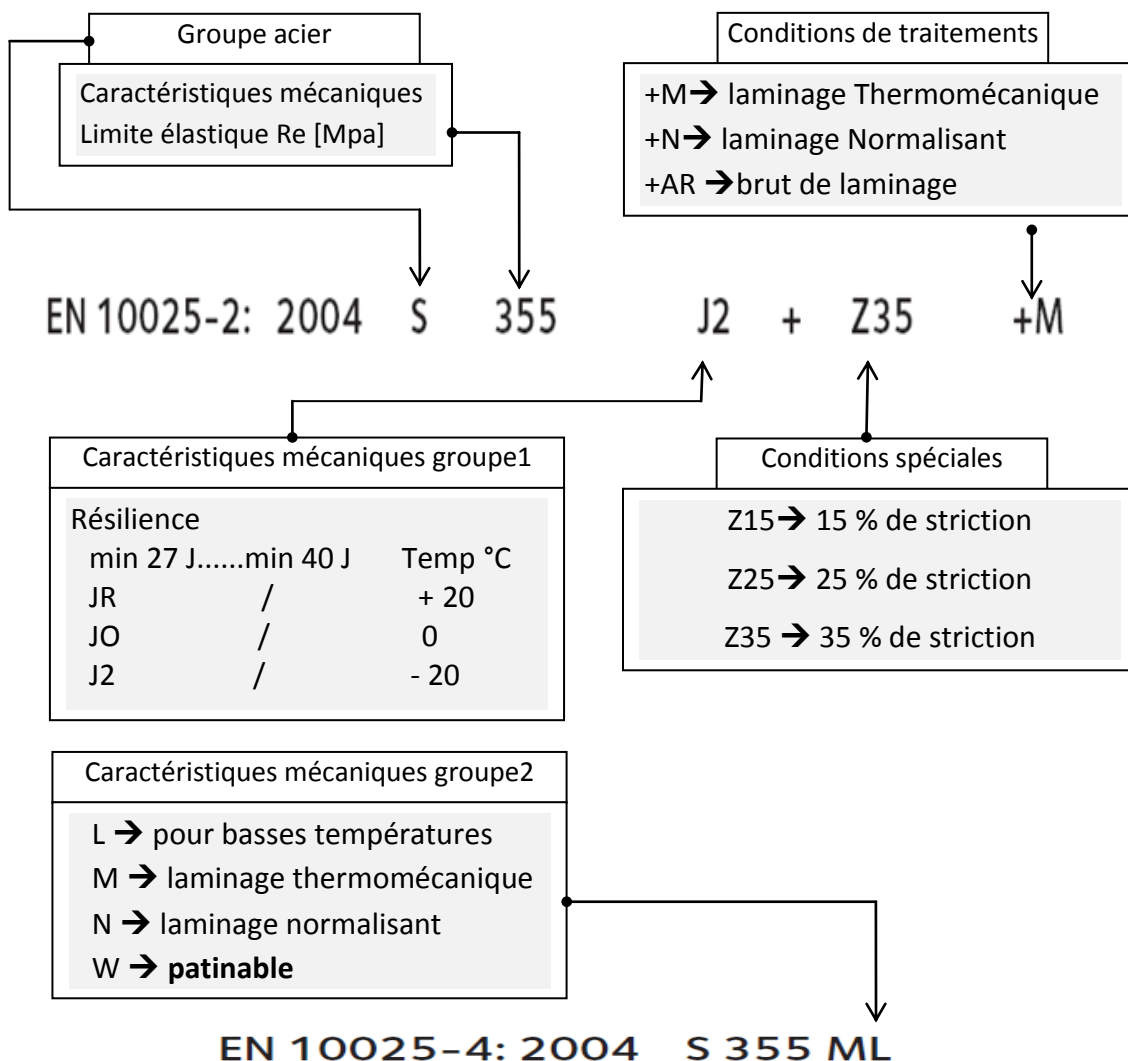
Tableau 1.3 Correspondance des normes des aciers laminés à chauds utilisés en charpente métallique.

Laminé à chaud patinable (acier faiblement allié au Cuivre-Nickel-Phosphore, à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique par formation d'une patine protectrice)

Limite d'élasticité [Mpa]	Désignation selon EN 10025-2:2004		Désignation selon EN 10025:1990 +A1:1993		France	Allemagne
	Symbolique	Numérique	Symbolique	Numérique		
235	NF EN 10025 NF En 10027-1	NF EN 10025 NF En 10027-2	NF EN 10025 NF En 10027-1	NF EN 10025 NF En 10027-2	NF A 35-501	DIN 17100
-	S235JOW	1.8958	S235JOW	1.8958	E24-W3	WTST 37-2
-	-	1.8961	S235J2W	1.8961	E24-W4	WTST 37-3
355	S355JOW	1.8945	S355JOWP	1.8945	E36WA3	WTST 36-3
	S355J2WP	1.8946	S355J2WP	1.8946	E36WA4	WTST 36-3
	S355JOW	1.8959	S355JOW	1.8959	E36WB3	
	S355J2W +N	1.8965 +N	S355J2G1W	1.8963	-	WTST 52-3
	S355J2W	1.8965	S355J2G2W	1.8965	E36WB4	
	S355K2W+N	1.8967 +N	S355K2G1W	1.8966		
	S355K2W	1.8967	S355K2G2W	1.8967		

Tableau 1.4 Correspondance des normes des aciers patinable laminés à chauds utilisés en charpente métallique.

1.5.3-Exemple de désignation des nuances d'aciers de construction métallique



1.6 - REALISATION D'UN PROJET EN CHARPENTE METALLIQUE

1.6.1. Introduction

Généralement, à l'origine d'un projet, on trouve un problème à résoudre qui fera appel à la notion de gestion de projet dont les principales étapes sont :

1. Initialisation / Cadrage,
2. Avant projet / Définir les objectifs,
3. Conception / Recherche des solutions,
4. Planification,
5. Réalisation / Mise en œuvre / Exécution,
6. Clôture / Fermeture / Terminaison.

En plus, ces étapes sont en interaction permanente pendant toute la durée de déroulement du projet.

L'étape initialisation du projet en question consiste à définir la finalité du projet en terme de :

- Clarification du besoin,
- Identification du projet,
- Formulation du Projet.

1.6.2-Cahier des charges

Le cahier des charges (ou spécifications techniques du besoin) est le document maître à fournir avant le début d'un projet. Il doit définir les objectifs et les besoins à satisfaire ainsi que les contraintes et exigences à caractéristique sociale, urbanistique, architecturale, fonctionnelle, technique et économique, d'insertion dans le paysage...etc, relatives à la réalisation de l'ouvrage.

Le cahier des charges est composé de plusieurs programmes :

- **Le programme architectural et urbanistique** détermine les exigences en fonction des contraintes réglementaires, techniques et fonctionnelles mais aussi politiques tels que les symboles et les images de représentations. Par exemple une façade d'un collège doit obligatoirement avoir "Le nom du collège" ainsi que les emblèmes de la nation.
- **Le programme fonctionnel** doit aborder plusieurs points :
 - Études des besoins,
 - Définition de l'organisation de la structure (Organigramme),
 - Définition de la taille minimale et maximale des différents éléments de la structure,
 - Définition des services communs,
 - Définition des équipements,
 - Définition des rythmes d'usages, des flux des différents locaux,

1.6.3-Etapes de réalisation d'un projet en charpente métallique

Dans le cas de la construction d'une structure en charpente métallique, le projet est un processus complexe qui nécessite une collaboration de plusieurs acteurs et intervenants à savoir (le maître de l'ouvrage, maître d'œuvre, contrôleur, bureau d'études technique et l'entreprise de réalisation). Ce processus s'appuie sur une documentation rédigée (Cahier des charges et devis) et une autre graphique (plan de situation, plan de masse, dessin d'ensemble et dessin d'exécution). Les principales étapes d'un projet en structure métallique sont classées selon la figure 1.28.

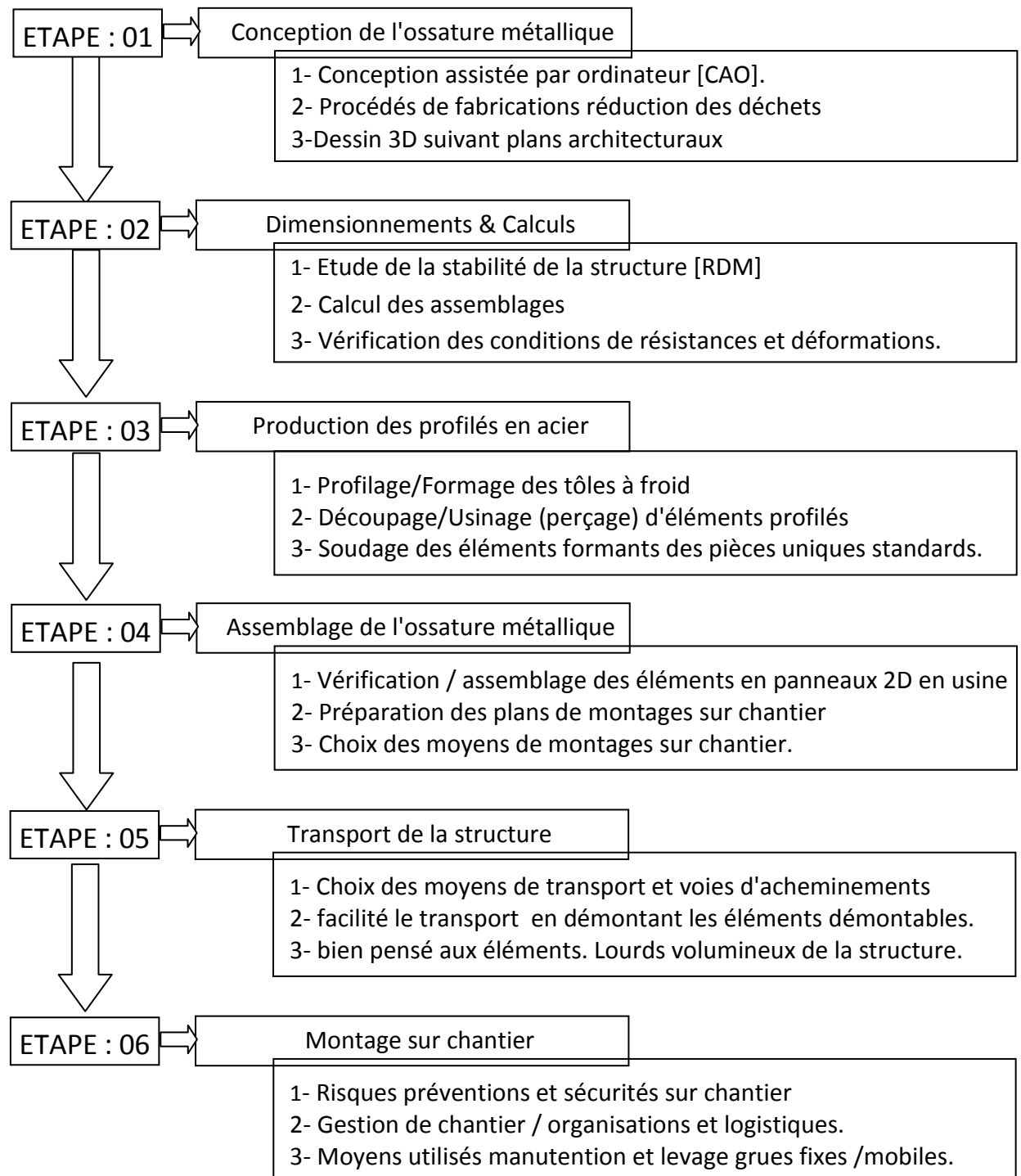


Figure 1.28 : Organigramme représentant les étapes d'un projet en charpente métallique