

## CHAPITRE IV. Ouvrages métalliques et mixtes

### IV.1. Ouvrages métalliques

#### IV.1.1. Choix de la solution métallique

Deux traditions coexistent dans la construction :

- la solution **ossature** (ossatures bois, puis fer et acier, puis béton armé) ;
- la solution **murs** (maçonnerie, puis béton banché et panneaux porteurs).

La solution métallique présente les caractéristiques liées à la première : libération du plan et concentration des charges.

Ce premier choix fondamental, une fois arrêté, ne doit pas être oublié dans la suite de l'étude, afin de ne pas en perdre les avantages, tout en réduisant ses inconvénients.

L'**ossature** assure le contreventement sans utiliser le poids (les remplissages pouvant ne pas être permanents) ; les charges transmises ponctuellement doivent être réparties plus ou moins largement suivant la résistance du sol. Les partitions (façades, cloisons, couvertures, planchers) doivent être assurées par le second œuvre.

Ces caractères étant communs à toutes les solutions *ossatures*, passons en revue les avantages et inconvénients de la solution métallique.

#### IV.1.2. Avantages de la construction métallique

##### IV.1.2.1. Préfabrication

La préfabrication en usine (générale en construction métallique) conduit à un gain de temps important sur le chantier. Toutefois, ce gain ne revêt la même importance dans le planning général que si les autres parties d'ouvrage suivent un rythme analogue, ce qui implique :

- des études importantes en amont, en évitant les improvisations sur le chantier ;
- une coordination des choix et des mises au point des éléments de second œuvre et d'équipement, en relation avec l'ossature.

Il faut aussi tenir compte des délais d'approvisionnement des semi-produits sidérurgiques et de préparation du travail d'usines de préfabrication. Les conditions de transport impliquent également des choix dans les solutions tant d'ensemble que de détails (étude de la position la plus favorable des **joints de chantier**). Dans certains cas, des études de colisage (par exemple colisage maritime) devront intervenir dès le

stade des études d'exécution. Ceci étant, les éléments d'ossature en acier, relativement légers et peu encombrants, se prêtent bien aux voyages à longue distance et même à l'exportation.

#### IV.1.2.2. Légèreté

Le poids propre des ossatures métalliques intervient peu dans les calculs de résistance, mais cet avantage n'est significatif que dans la mesure où les autres parties d'ouvrage sont elles-mêmes assez économes en poids. Des solutions traditionnelles de maçonnerie lourdes et de béton pour des remplissages ne sont pas toujours très adaptées à la solution métallique. La légèreté donne un avantage certain dans les cas de sols difficiles (en évitant ou réduisant les fondations profondes), ou lorsque l'infrastructure (souvent en béton) doit subir des flexions locales, ou enfin dans le cas de grandes portées, où le poids devient l'ennemi principal.

***Remarque** : il ne faut pas en déduire, comme on le fait souvent trop hâtivement, que la solution métallique conduit aux grandes portées. Il faut dire seulement que, lorsque de grandes portées sont utiles, la solution métallique est généralement plus favorable.*

#### IV.1.2.3. Architecture

L'expression structurale est favorisée par les structures à ossature et particulièrement par celles en acier, dont la grande variété de solutions et de formes (d'ensemble et de détails) est un outil de choix pour l'architecte. Parmi les ossatures, celles en acier se caractérisent par la grande légèreté d'aspect (au point qu'il peut devenir parfois nécessaire de grossir certaines sections qui pourraient inquiéter, sans pour cela augmenter nécessairement la quantité d'acier).

#### IV.1.2.4. Grande variété de solutions

De nombreuses solutions, tant dans les partis constructifs généraux que dans les détails sont toujours disponibles en construction métallique, certaines d'ailleurs mettant à profit l'association de l'acier avec d'autres matériaux (le béton surtout). Cette variété, qui permet une adaptation étroite aux données d'espèce du programme fonctionnel et de l'économie, se traduit immédiatement sur le plan architectural dans la mesure où la structure reste apparente ou tout au moins est signifiée dans le bâtiment terminé.

#### IV.1.2. 5. Facilités de transformations

Les ossatures métalliques se prêtent bien aux transformations :

- par la banalisation des espaces permise par la solution ossature ;
- par les possibilités de transformation de l'ossature elle-même, qui se découpe, se soude en position, non sans précautions toutefois.

Cet avantage est bien connu des industriels, dont les bâtiments constituent la grande majorité des fabrications de la construction métallique, surtout en France. Ainsi, des bâtiments entiers ont pu être récupérés, démontés, transportés à des distances importantes et remontés, puis transformés à de multiples reprises pour des usages différents.

La transformation, la réhabilitation ou la reconversion de bâtiments existants (surtout quand ils sont déjà à ossature métallique) trouvent le plus souvent la meilleure solution par l'emploi d'ossatures métalliques de **reprise en sous-œuvre** ou de réaménagements intérieur ou extérieur.

On peut noter que le coût de démolition d'un bâtiment à ossature métallique est souvent entièrement compensé par la valeur résiduelle des matériaux récupérés, ce qui est assez exceptionnel.

#### IV.1.2. 6. Faibles encombrements

Les faibles sections des ossatures en acier (dues aux caractéristiques élevées de résistance de ce matériau) présentent plusieurs intérêts :

- ouvertures maximales à la lumière du jour et aux vues, en façades et en toitures ;
- encombrement minimal à l'intérieur des locaux (on est allé jusqu'à calculer le gain en surface libre qui conduit, dans certaines situations, à un nombre appréciable de francs lourds);
- passages faciles d'un local à l'autre, jusqu'à proximité immédiate des éléments porteurs et au travers même de palées triangulées ou en cadres rigides ; passages de gaines et canalisations dans les plénums des planchers, à l'intérieur de doubles cloisons ou même de poteaux-gaines accessibles, tout en utilisant entièrement les hauteurs et épaisseurs de ces constructions pour l'économie maximale de matière et la plus grande rigidité.

### IV.1.3. INCONVENIENTS DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE

Comme il est de règle, on trouve les inconvénients correspondant aux avantages de toute solution.

#### IV.1.3.1. Préfabrication

Cette méthode implique une grande rigueur d'organisation, des études en amont (avant les fabrications, avec un certain délai avant l'arrivée sur le chantier de tout élément) importantes et soigneusement organisées, en coordination entre tous les corps d'état. Les remords du maître d'œuvre, lors des rendez-vous de chantier, sont ici à proscrire ou tout au moins doivent être mûrement pesés (il s'agit alors de transformations après construction et non plus de mises au point). Ces préoccupations, assez étrangères aux errements des chantiers traditionnels, sont communes à tous les procédés de préfabrication, mais particulièrement sensibles en charpente métallique, où l'organisation est très poussée. On trouvera naturellement plus de souplesse avec de petites entreprises locales voisines du chantier, mais aussi les inconvénients correspondants. C'est affaire de taille du chantier et de cas d'espèce.

#### IV.1.3.2. Légèreté

Dans le cas de bâtiments élevés, les efforts de renversement dus au vent peuvent entraîner, à la base de certains poteaux, des soulèvements de valeur absolue supérieure à celle des charges pondérales minimales en raison de la légèreté des structures et des ouvrages qui les accompagnent. Pour éviter ou réduire cet inconvénient, qui peut conduire à des ouvrages coûteux, on s'efforcera de placer les têtes de palées au droit des porteurs les plus chargés. Il y aura aussi intérêt à donner à ces palées les empattements le plus larges possible ; c'est ce que préconisent par exemple les ingénieurs américains pour leurs gratte-ciel, dans la formule des structures-tubes, où les contreventements sont reportés en façade et non plus confinés dans des noyaux centraux exigus.

Il est évident que, souvent, des compromis devront être trouvés entre ces deux recommandations, qui peuvent être contradictoires.

#### IV.1.3.3. Grande variété de solutions

Il est souvent difficile de connaître a priori, entre plusieurs solutions à un même problème, quelle sera la plus économique. Cela dépend en effet des conditions de travail particulières propres à chaque fabricant : équipement, machines, méthodes, tours de main, etc.

Il arrivera ainsi fréquemment que les offres des entreprises consultées proposent des variantes, qui risquent d'entraîner des modifications en chaîne de l'ensemble du projet, remettant en cause les études préalables et rendant difficile l'appréciation de l'intérêt réel de ces variantes.

Il sera bon, chaque fois que ce sera possible, de prévoir la possibilité de ces variantes, afin d'en tenir compte dans l'étude préalable aux appels d'offre et d'obtenir les chiffrages correspondants de la part de tous les corps d'état concernés

#### IV.1.3.4. Transformabilité

Des transformations locales, surtout celles atteignant les structures, risquent d'entraîner des changements dans le système architectural. Par exemple, la suppression de diagonales de contreventement vertical ne peut se faire sans précautions. Les changements de destination de locaux peuvent aussi changer les conditions ayant déterminé les ossatures (cas des charges d'exploitation par exemple) et leurs protections (degré de stabilité au feu requis, par exemple).

Il serait utile que l'exploitation de tout bâtiment soit soumise à un cahier des charges d'exploitation précisant les dispositions constructives et de protection, accompagnées d'un dossier de plans détaillés des structures avec leurs notes de calculs. On constate malheureusement, dans la pratique, que cela est trop peu souvent le cas.

#### IV.1.3.5. Isolations

Les isolations phoniques et thermiques peuvent être assurées dans un bâtiment à ossature métallique, en dépit des handicaps tels que la légèreté (loi de masse) et la conductivité thermique (ossatures en façades), pourvu que des solutions particulières soient recherchées et que l'on ne s'en tienne pas systématiquement à des procédés traditionnels relativement mieux adaptés à d'autres modes de construction. Ainsi, en isolation phonique, l'absence de masse suffisante peut être compensée par des liaisons souples (rupture des ponts phoniques), pourvu que les conceptions prévues le

permettent. De même, les ponts thermiques peuvent souvent être évités ; mais cela n'exclut pas inévitablement des conceptions à ossature apparente en façade, si l'importance relative de leurs conséquences en est connue et si l'on sait les pallier. Les ponts thermiques ponctuels isolés (pénétrations de barres de sections modestes) sont généralement de faible gravité du point de vue des déperditions, mais les condensations doivent être récupérées ou évitées. Des conceptions à isolation intérieure (sans inertie thermique) sont plus favorables à ce parti de structures extérieures.

Ces analyses des avantages et inconvénients doivent permettre d'orienter le choix préalable d'une ossature métallique, de manière à utiliser au maximum les avantages tout en réduisant ou palliant les inconvénients. Ce choix fait, il convient d'adapter, dès le début, l'étude de la construction tout entière à ce parti et non de chercher à comparer, sur un même projet déjà étudié, deux solutions aussi dissemblables qu'une ossature métallique et une structure en béton armé.

#### IV.1.4. Produits sidérurgiques

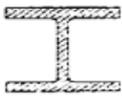
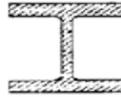
<b>POUTRELLES CLASSIQUES</b>				
	HEA		HEB	
				
	UPN		UAP	
<b>LAMINÉS MARCHANDS USUELS</b>	<b>Cornière égale</b>	<b>Cornière inégale</b>	<b>Té égal à congé</b>	<b>Petit fer U</b>
				
	<b>Plat</b>	<b>Rond</b>	<b>Carré</b>	
				
<b>PRODUITS PLATS</b>	Tôle laminée à chaud en feuille ou bobine : bande refendue à chaud ; tôle forte et plaque (tôle provenant d'un train réversible) ; tôle laminée à froid en feuille ou en bobine.			
<b>TUBES</b>	<b>Tube rond</b>	<b>Tube carré</b>	<b>Tube rectangulaire</b>	
				

Figure IV.1. Produits fournis par l'industrie sidérurgique.

#### IV.1.4.1. Poutrelles classiques

La section de ces poutrelles aussi appelée profilé en double Té est constituée de deux ailes ou semelles dont les faces extérieures qui sont parallèles se raccordent au milieu à une âme perpendiculaire par l'intermédiaire de deux congés (de raccordement). Ces profilés sont de plusieurs types : IPN, IP et HE. La hauteur des profilés commerciaux est général comprise entre 80mm et 600mm. Ces profilés se désignent par leur appellation suivi d'un chiffre entier égal ou proche de leur hauteur en mm, ex.IPE 300 (h=290mm).

Les longueurs de livraison pour les profils de moins de 300mm sont de 8m à 18m. Pour les profils de 300mm et plus, elles varient de 8m à 22m.

##### IV.1.4.1.1. Profilés IPN

La face intérieure des semelles est inclinée de 14% par rapport à la face extérieure. Leurs hauteurs varient de 160 à 600mm. Ces profilés ne sont plus fabriqués.

##### IV.1.4.1.2. Profilés IP

Les faces intérieures des semelles de ces profilés sont parallèles aux faces extérieures. On distingue les profilés IPE les plus couramment utilisés, les profilés IPE-A (allégés) et les profilés IPE-O 'renforcés).

##### IV.1.4.1.3. Profilés HE (poutrelles européennes à larges ailes)

Ces profilés ont de très larges ailes parallèles par rapport aux IP. Ils comportent plusieurs catégories suivant l'épaisseur croissante des ailes : HEA, HEB et Hem. On fabrique maintenant des profilés HHD qui ont des épaisseurs d'âme et des semelles très grandes.

	Ailes étroites		Larges ailes			
	INP 300	IPE 300	HEA 300	HEB 300	HEM 300	HHD 320 x 451
$m$ [kg/m]	54.2	42.2	88.3	117	238	451
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	6900	5380	11 300	14 900	30 300	57 400
$I_y$ [10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> ]	98.0	83.6	182.6	251.7	592.0	1492
$I_z$ [10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> ]	4.51	6.04	63.1	85.6	194.0	406.1

**Figure IV.2.** Exemple de profilés en double Té.

### Utilisation

Les profilés IPN et IPE sont utilisés principalement comme éléments fléchis (poutres de plancher, pannes de toitures) car leur moment d'inertie  $I_y$  est grand par rapport au moment d'inertie  $I_z$ .

Les profilés en H sont surtout utilisés comme éléments comprimés et fléchis à la fois (poteaux) car le rapport entre les moments d'inertie est moins défavorable qu'avec les IP. Ils peuvent être aussi utilisés comme éléments fléchis.

#### IV.1.4.1.4. Les Profilés en U

Ils sont composés d'une âme et de deux ailes raccordées à l'âme à une extrémité. Ils sont de deux types : les UPN qui ne sont plus fabriqués et les UAP. Leur hauteur est comprise entre 80mm et 300mm. Ils se désignent par leur appellation suivie d'un chiffre entier donnant la hauteur de leur section : UAP 300, UPN 100.

Les faces intérieures des ailes des UPN sont inclinées de 8% par rapport aux faces extérieures tandis que les ailes des UAP ont des faces parallèles.

Les profilés UAP sont utilisés comme pannes de toiture, lisse de bardage, barres de contreventement, éléments de poutres et poteaux à treillis.

	UNP 300	UAP 300
$m$ [kg/m]	46.2	42.2
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	5880	5860
$I_y$ [10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> ]	80.03	81.7
$I_z$ [10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> ]	4.95	5.62

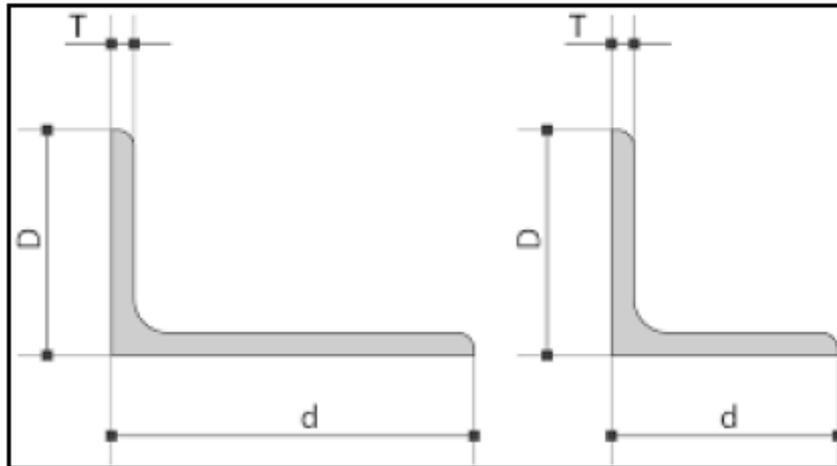
Figure IV.3. Exemples de profilés U.

#### IV.1.4.2. Les laminés marchands

##### IV.1.4.2.1. Les cornières

Ce sont des laminés à deux branches perpendiculaires. Elles se désignent par la largeur des deux ailes et leur épaisseur. Les cornières sont de deux types :

- A branches ou à ailes égales
- A branches ou à ailes inégales



**Figure IV.4.** Exemples de cornières.

Les cornières sont utilisées généralement comme :

- Barres de poutres ou fermes à treillis, poteaux à treillis,
- Éléments constructifs comme les supports d'assemblage,
- Éléments de liaison dans les anciennes constructions rivées.

#### IV.1.4.3. L'Autres produits

##### IV.1.4.3.1. Demi-poutrelles

Ce sont des profils IP ou HE coupés dans l'âme au milieu de celle-ci ( $h/2$ ). Ces demi-profilés sont parfois utilisés comme membrures de poutres à treillis ou éléments de poteaux composés.

##### IV.1.4.3.2. Profilés spéciaux

Ils comportent un très grand nombre de formes et de dimensions et sont utilisés dans des domaines très divers. Ils sont le plus souvent de faible section et comprennent :

- Les équerres à ailes égales ou à ailes inégales.

- Les Tés à angles vifs à ailes égales ou à ailes inégales.

#### IV.1.4.3.3. Les ronds

Ils ont une section circulaire et se désignent par le diamètre de cette section. Ils peuvent être utilisés comme barres de treillis, de contreventement, tirants.

#### IV.1.4.4. Les tubes

Ceux-ci comprennent les profils creux ronds dont les diamètres varient de 21.3mm à 406.4mm, les profils creux carrés dont la dimension C extérieure varie de 22mm à 300mm et les profils creux rectangulaires dont les dimensions varient de 50x25 à 400x250mm.

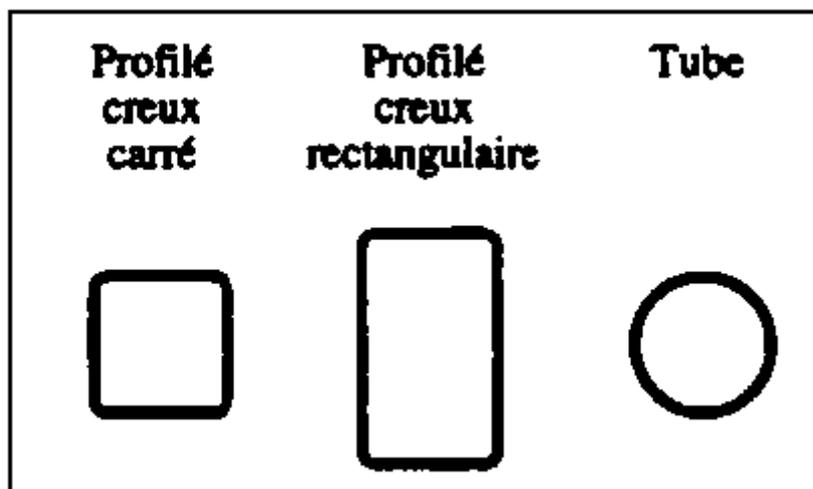


Figure IV.5. Exemples de profils tubulaires.

## IV.2. Construction mixte

La combinaison la plus importante et la plus fréquente de matériaux de construction que l'on rencontre est celle qui concerne l'acier et le béton avec des applications dans les bâtiments commerciaux à étages multiples, les usines et les ponts. Dans les systèmes structuraux, l'acier et le béton peuvent être utilisés de manière composée, par exemple des noyaux de béton entourés par des profils creux en acier, aussi bien que comme structures mixtes, dans lesquelles les éléments en acier et en béton agissent en commun de manière mixte.

Ces deux matériaux, essentiellement différents, sont complètement compatibles et complémentaires vis à vis l'un de l'autre. Ils ont le même coefficient de dilatation thermique et sont une combinaison idéale pour la résistance, le béton résistant de manière efficace à la compression et l'acier à la traction. Le béton assure également une protection contre la corrosion et une isolation thermique de l'acier à température élevée, en plus il peut raidir les sections élancées en acier vis à vis du flambement et du déversement.

Dans les bâtiments à étages multiples, l'ossature en acier est couramment utilisée de manière conjointe avec du béton ; par exemple des poutres en acier avec des dalles de planchers en béton. Cette application est également utilisée pour les ponts routiers où l'on préfère normalement les dalles en béton. Le critère suivant lequel les éléments ou parties de structure de bâtiment devraient être réalisés entièrement en acier ou en béton armé ou mixte dépend des circonstances. Il est un fait néanmoins, que les ingénieurs conçoivent de plus en plus de systèmes de constructions mixtes et constructions combinées en acier et en béton armé de manière à produire des structures plus efficaces en comparaison des conceptions où l'on utilise les matériaux de manière isolée.

Les bâtiments constitués d'éléments en acier et d'éléments mixtes ont connu un regain d'intérêt pendant les années 80, avec en conséquence, une profusion de nouveaux concepts de constructions et de dispositions constructives.

Si l'on considère uniquement des éléments mixtes simples pris de manière isolée, tels que des poutres isolées, des poteaux ou des dalles, nous comprenons que, quoiqu'ils soient de grande qualité et soient très résistants, ils sont dans beaucoup de cas onéreux. En particulier dans les bâtiments où les poteaux sont faiblement espacés, les poutres de planchers ont des portées bien inférieures à 9 m et les chargements sont

faibles. D'un autre côté, les systèmes de constructions avec des planchers mixtes sont largement compétitifs si les portées augmentent jusqu'à 12, 15 et même 20 m. Évidemment, il existe une demande pour des bâtiments où les poteaux sont plus espacés soit pour créer des volumes plus ouverts ou pour offrir une plus grande flexibilité dans l'aménagement des bureaux.

#### IV.2.1. Eléments mixtes

##### IV.2.1.1. Poutres mixtes

La figure 6 présente un exemple d'utilisation de différents profils (sections) et différents types de poutres (profilés laminés ou profilés reconstitués soudés) associées avec du béton coulé sur chantier.

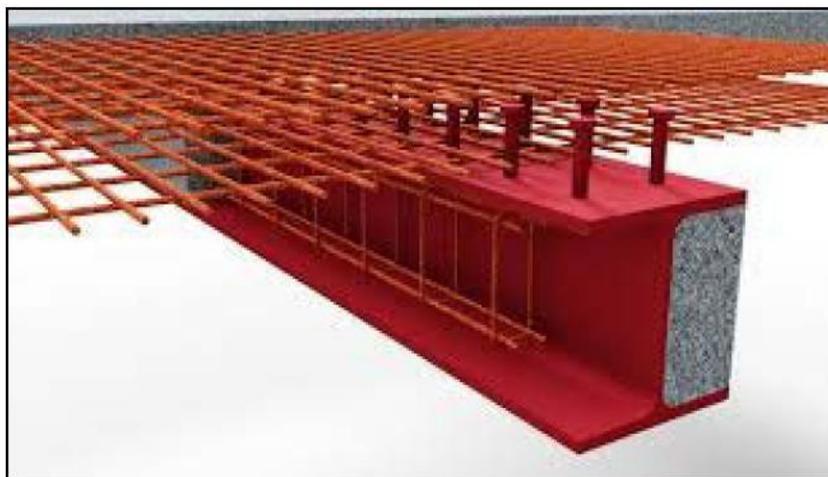


**Figure IV.6.** Exemple de constructions mixtes.

A la place d'une dalle en béton coulée sur chantier, il est possible d'utiliser des dalles préfabriquées en béton ou des pièces de planchers telles que présentées sur la figure 6. Cependant il convient de prévoir des dispositions constructives et des pratiques de montage parfaitement étudiées pour assurer un recouvrement adéquat des connecteurs. Un tel système structural est apparu sur le marché au début des années soixante. Uniquement en Allemagne plus de 100 parcs de stationnement pour voitures, Universités, écoles et bâtiments de bureaux ont été construits de cette manière. L'utilisation d'éléments préfabriqués de planchers réduit les opérations de montage sur le chantier et évite les manipulations. Les éléments sont eux-mêmes coulés en atelier sur des coffrages en acier qui permettent d'assurer une grande qualité et des tolérances très serrées (strictes).



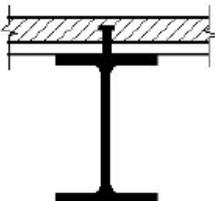
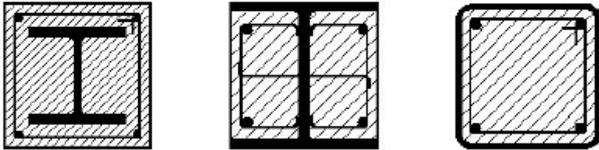
**Figure IV.7.** Exemple de plancher préfabriqué.



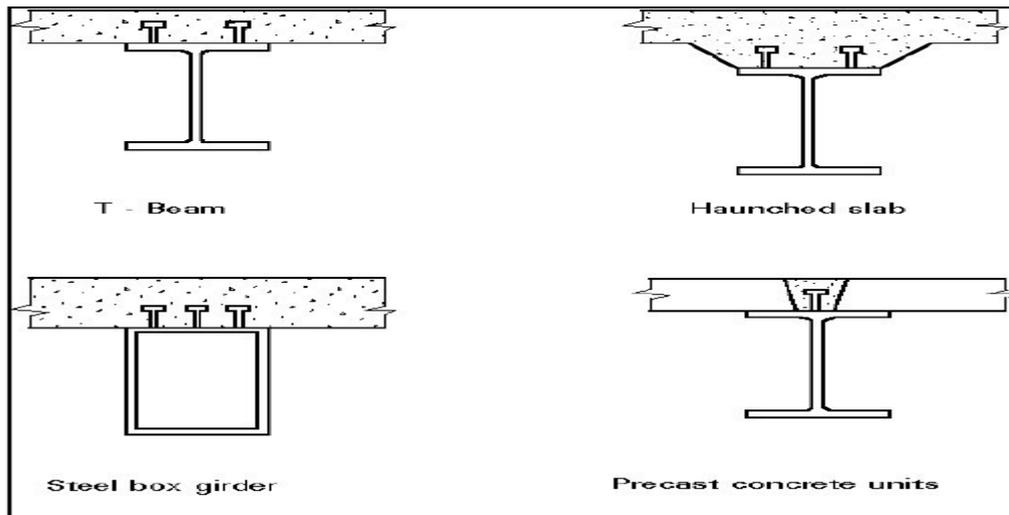
**Figure IV.8.** Exemple d'une poutre mixte partiellement enrobée.

La figure 9 montre une poutre mixte partiellement enrobée dont le volume situé entre les semelles est rempli de béton. Ce type de section mixte est souvent utilisé de nos jours dans certaines régions d'Europe de manière à rencontrer les impositions de résistance à l'incendie sans mesures de protection supplémentaires. La face inférieure de la semelle reste non protégée.

Néanmoins dans le cas des bâtiments commerciaux et industriels, la pratique courante est de réaliser les planchers en utilisant des tôles profilées en acier pourvues de bossages ou de formes spéciales nécessaires pour obtenir un comportement mixte. C'est un moyen très économique pour accélérer le montage et est une partie importante des systèmes de construction modernes. Les tôles profilées à nervures rentrantes de forme trapézoïdales sont utilisées de manière courante.

Composite girder		Steel-beam composite slab or RC-slab
Composite column		Steel profiles embedded in or filled with concrete
Composite slab		Holorib <sup>®</sup> sheeting + concrete

**Figure IV.9.** Éléments mixtes (poteaux, poutres, planchers).



**Figure IV.10.** Différentes sections de poutres mixtes coulées in situ.

#### IV.2.1.2. Connexion

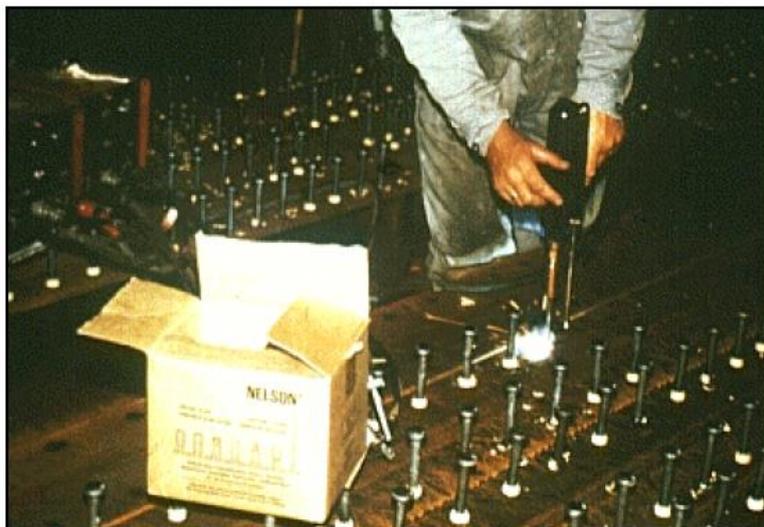
Des connecteurs fonctionnant de manière mécanique sont utilisés pour développer le comportement mixte entre la poutre en acier et le béton. Cette connexion est essentiellement prévue pour résister au cisaillement horizontal et est appelée « connexion au cisaillement » (connexion en plus simple).

Les connecteurs doivent réaliser les conditions suivantes :

- transmettre le cisaillement directement par leur base,
- créer une liaison en traction dans le béton,
- être économiques à fabriquer et à fixer.

Des connecteurs cloués au pistolet tels que présentés sur la figure 11, sont employés de manière alternative lorsque des tôles profilées en acier sont utilisées et que la puissance électrique nécessaire n'est pas disponible sur le chantier. Ces connecteurs ont pour avantages d'utiliser des pistolets spécifiques à cartouches au lieu de l'équipement spécial nécessaire pour réaliser le soudage complexe aux travers des tôles.

Lors de l'utilisation d'éléments de dalles préfabriqués en béton, on a quelquefois utilisé des boulons à haute résistance agissant par frottement. On applique cela, par exemple, pour la réalisation des parcs de stationnement temporaires car la connexion pouvait être retirée ultérieurement. Toutefois tous ces parcs de stationnement temporaire sont utilisés de manière permanente à l'heure actuelle.



**Figure IV.11.** Exemple de mise en place de goujons sur des poutres en atelier.

#### IV.2.1.2. Poteaux mixtes

L'on utilise principalement trois types de poteaux mixtes (voir figure 12) :

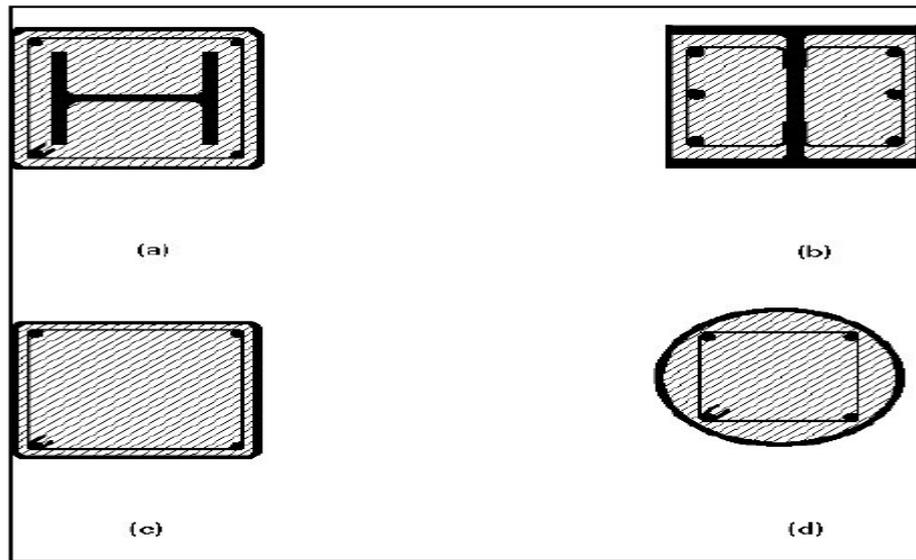
- les poteaux enrobés de béton (a)
- les tubes en acier remplis de béton (c et d) et
- les poteaux avec profilés laminés partiellement enrobés de béton (b).

L'interaction complète doit être assurée au moyen de liaisons mécaniques. Celles-ci doivent être prévues au minimum aux extrémités du poteau et aux endroits où agissent les charges ou les efforts. Il convient de les distribuer sur l'ensemble de la section droite. De telles liaisons peuvent être réalisées avec des goujons, des platines situées au sommet et à la base, des crochets adéquats, des goussets verticaux, des têtes de cisaillement ou d'autres moyens structuraux.

L'avantage des poteaux enrobés de béton est de réaliser les exigences de résistance au feu sans moyens supplémentaires de protection. En plus ils peuvent être aisément renforcés par des armatures placées dans l'épaisseur du béton d'enrobage. Par contre, ils ne permettent pas d'accéder facilement à la surface en acier de l'ossature afin de réaliser les assemblages ultérieurs et leur aspect de surface n'est pas très attractif. Dans le cas des poteaux enrobés préfabriqués, les sections en acier sont fabriquées en atelier et intègrent toutes les soudures, platines et tous autres éléments nécessaires à l'assemblage.

Des profils creux remplis de béton sont aussi utilisés. Ils sont remplis de béton, généralement à haute résistance, avec une résistance minimum sur cube de 45 à 55

MPa. Ces résistances sont néanmoins bien en deçà de celles qui ont été développées ces derniers temps en Amérique du nord.

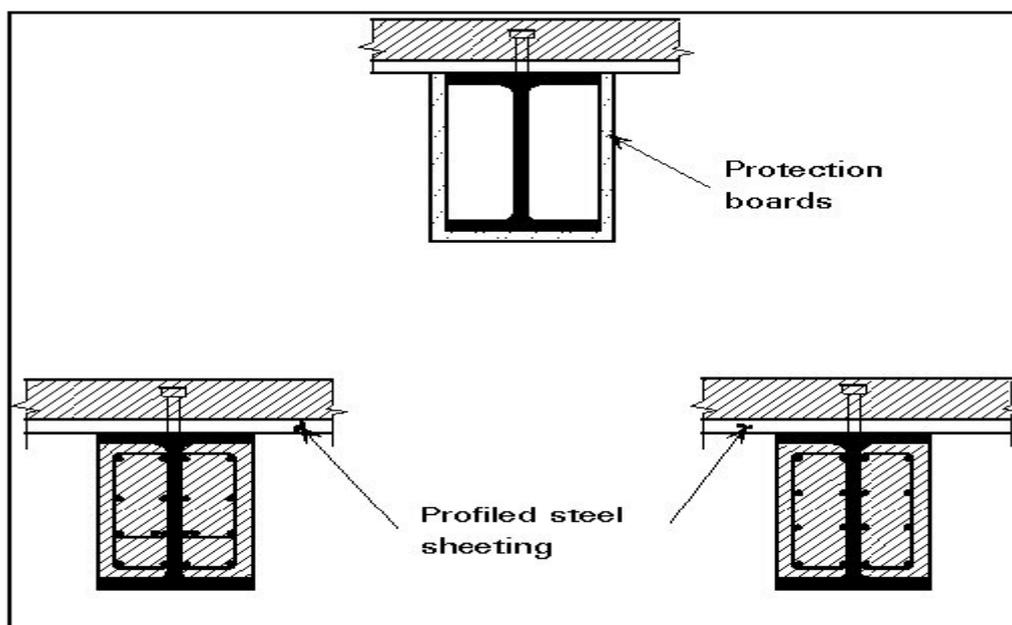


**Figure IV.12.** Différentes configurations des poteaux mixtes.

#### IV.2.1.3. Profilés en acier partiellement enrobés

La technique des profilés en acier partiellement enrobés, aussi bien pour les poutres que pour les poteaux, se développent de manière intéressante depuis ces 10 dernières années. La caractéristique la plus importante de ces profilés partiellement enrobés est leurs performances naturelles de résistance à l'incendie. Cela est dû au fait que la partie en béton protège les parties internes en acier, l'acier de construction aussi bien que les armatures, d'un échauffement trop rapide.

En plus d'une amélioration de la résistance à l'incendie, le fossettage et le voilement de l'âme en acier est évité et la résistance de la poutre en acier vis à vis du déversement est grandement améliorée. Ces poutres sont aussi plus rigides sous moment de flexion et sous le cisaillement vertical, il en résulte des flèches finales réduites.



**Figure IV.13.** Poutres mixtes partiellement enrobées de béton (figures de bas) et poutres mixtes avec protection conventionnelle faite de panneaux (figure de haut).

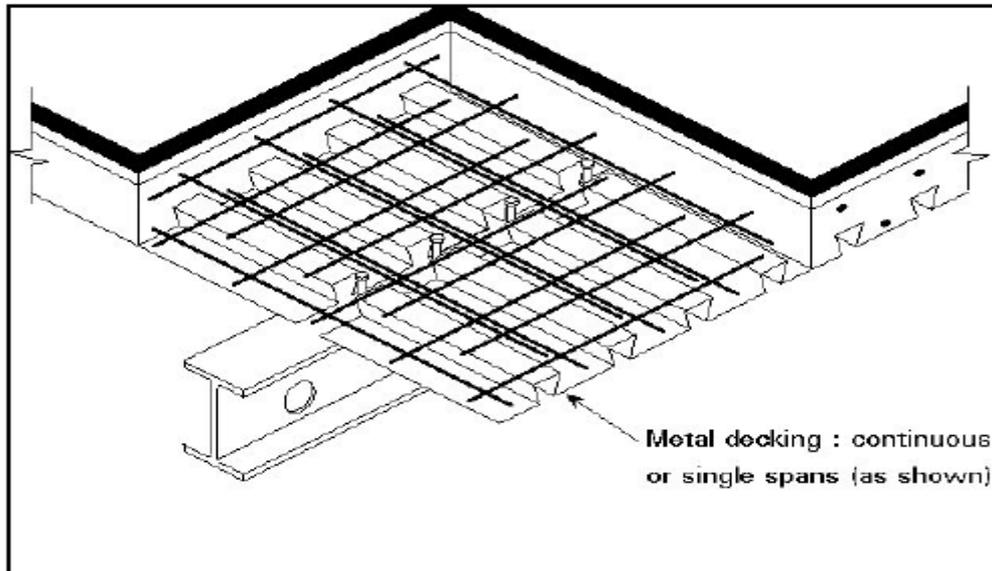
#### IV.2.1.4. Planchers mixtes

Dans la réalisation des planchers, la dalle en béton armé est remplacée de plus en plus par une dalle mixte à base de tôles profilées en acier, telles que présentées sur la figure 14. Les tôles profilées en acier modernes ont des bossages et embossages supplémentaires et agissent à la fois comme coffrage permanent pendant la phase de bétonnage et comme armature de traction après que le béton ait durci. Au stade final, la dalle se comporte comme un élément mixte constitué de la tôle profilée en acier et d'une partie supérieure en béton liaisonnés de manière telle que les efforts de cisaillement horizontaux soient transmis à l'interface entre l'acier et le béton. Le glissement (déplacement relatif) à l'interface doit être totalement ou du moins partiellement évité. De même manière, la désolidarisation verticale entre la tôle profilée en acier et le béton de recouvrement doit être évitée.

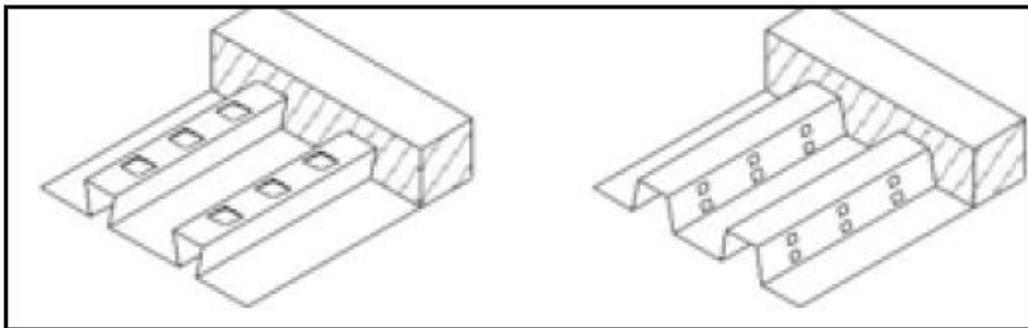
Le comportement mixte nécessaire peut être réalisé de plusieurs manières par les méthodes suivantes :

- liaison mécanique assurée par des déformations du profil (bossages ou embossages) (figure 15) ;
- liaison par frottement pour des profils à nervures rentrantes (figure 16) ;
- par la fixation d'ancrages d'extrémités réalisés au moyen de goujons soudés ou de connecteurs cloués au pistolet (figure 17);

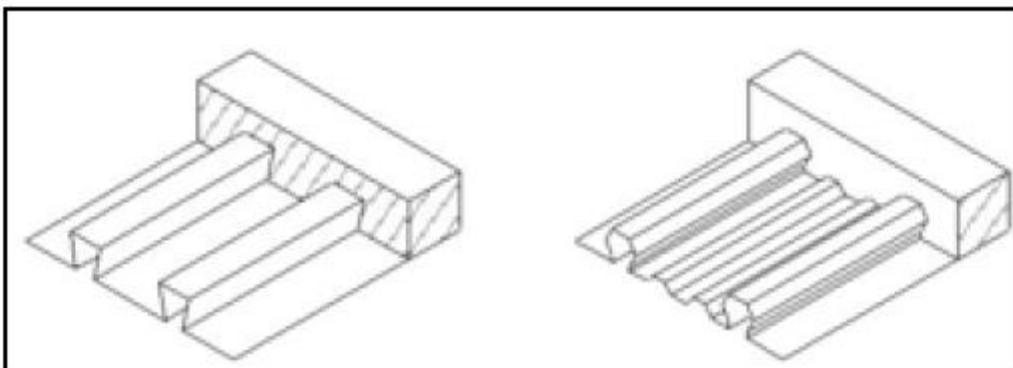
- ancrages d'extrémités par déformation des nervures aux extrémités de la tôle (figure 16).



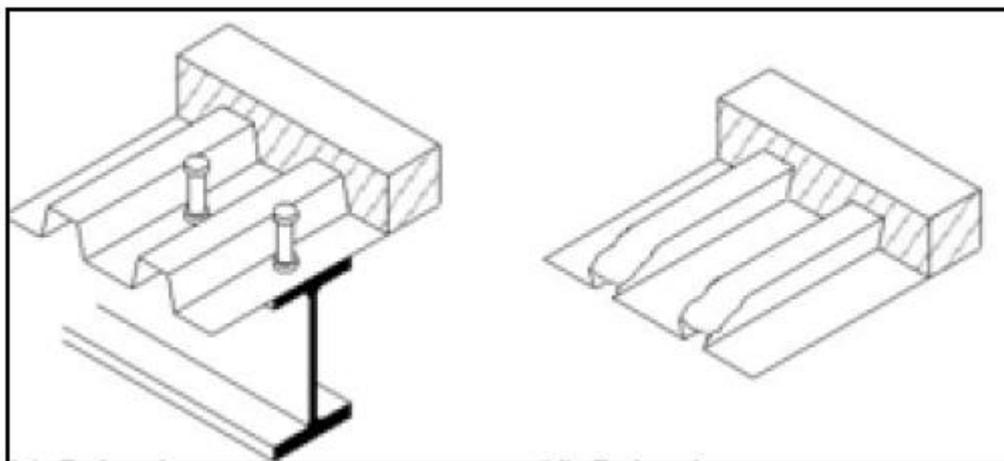
**Figure IV.14.** Dalle mixte à base de tôle profil en acier.



**Figure IV.15.** Liaison mécanique (tôle-béton) assurée par des déformations du profil (bossages ou embossages).



**Figure IV.16.** Liaison par frottement pour des profils à nervures rentrantes.



**Figure IV.17.** Liaison par la fixation d'ancrages réalisés au moyen de goujons soudés ou de connecteurs cloués au pistolet (illustration de gauche). Ancrages d'extrémités par déformation des nervures aux extrémités de la tôle (illustration de droite).

### IV.3. ASSEMBLAGE

#### IV.3.1. Définition Et Rôle D'un Assemblage

La caractéristique essentielle des constructions métalliques est d'être composées d'un ensemble d'éléments barres (**poteaux- poutres**) constitués de profilés laminés ou soudés souvent en forme de (**I** ou de **H**) qu'il faut assembler entre eux pour constituer l'ossature. Les liaisons entre ces différents éléments représentent ce qu'on appelle communément les **assemblages**. Ces derniers constituent des composants spécifiques à la construction métallique, ils jouent un rôle très important, on peut les définir comme organes de liaison qui permettent de réunir et de solidariser plusieurs éléments entre eux, on assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les éléments assemblés, sans générer d'efforts parasites. Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à l'effondrement de la structure. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale.

#### IV.3.2. Modes D'Assemblages

Les différentes formes d'assemblages ci-dessus mentionnés sont généralement réalisées par les principaux modes d'assemblages suivants :

##### IV.3.2.1. Le Rivetage

Les rivets ont été le premier moyen d'assemblage utilisé en construction métallique. Actuellement, l'emploi des rivets est limité et on leur préfère, dans la plupart des pays industrialisés, les boulons et la soudure. On les rencontre donc essentiellement dans des structures anciennes, datant du début de siècle dernier .leur diamètre varie généralement de 10 à 28mm.)

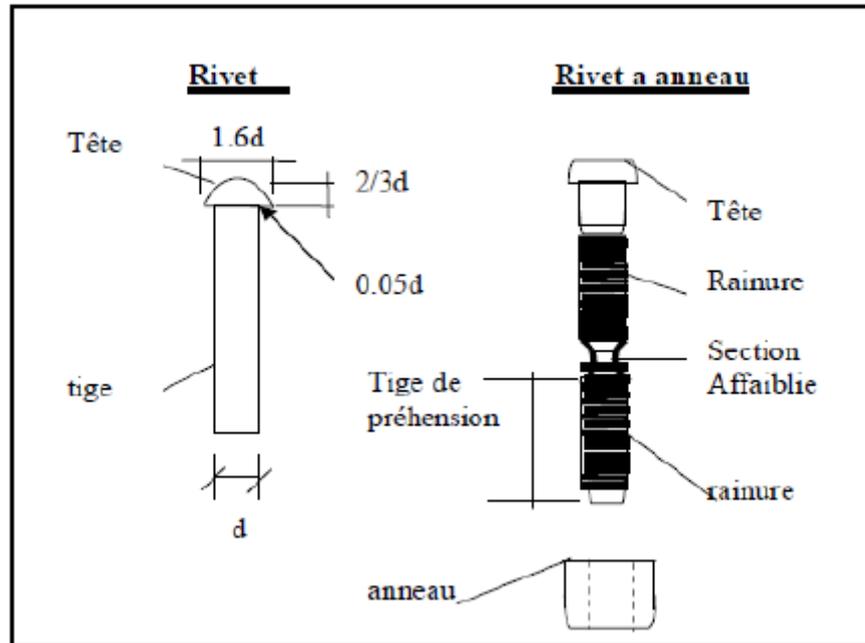


Figure IV.18. Rivets

**Rivets à anneau :**

Les rivets à anneau (rivelons) sont des éléments de connexion mécanique qui tiennent à la fois du rivet (dans la mesure où il a une même forme de tête et qu'il introduit une force de précontrainte) et du boulon (car une partie de sa tige est rainurée). Les principales caractéristiques: la tige se compose de deux parties rainurées (et non pas filetées), séparées par une portion de tige dont la section est affaiblie.

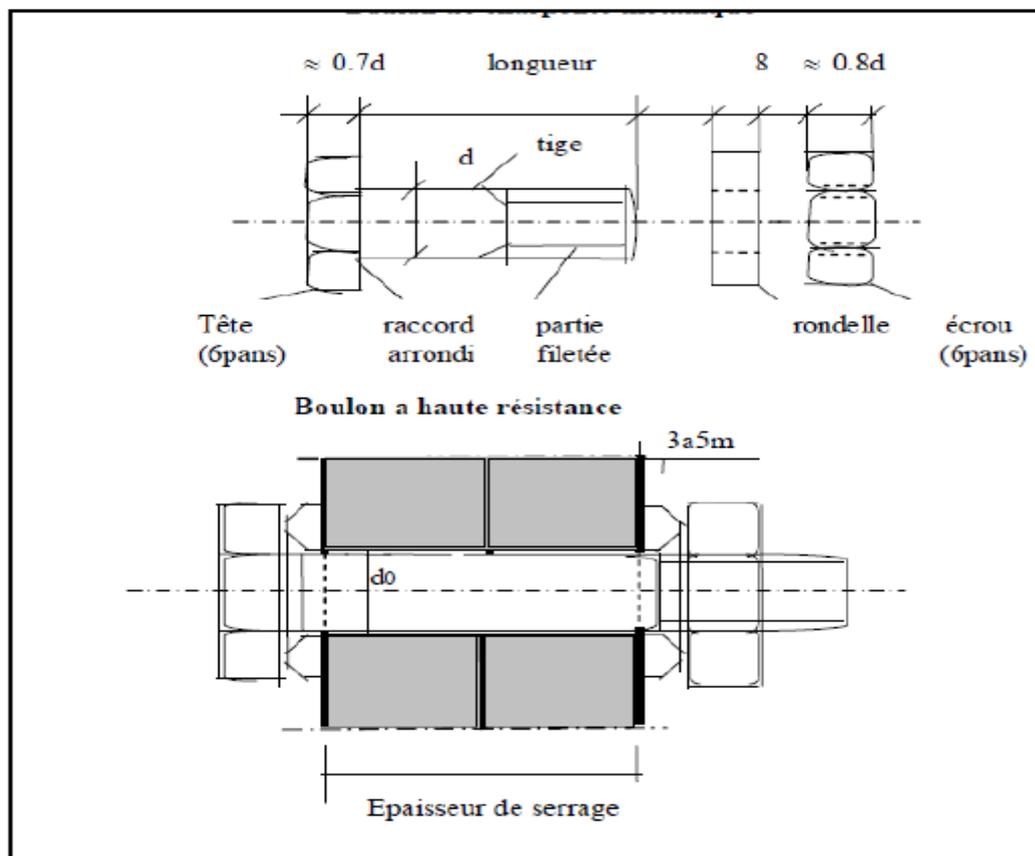
## IV.3.2.2. Le Boulonnage

**Tableau IV.1.** Caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons

boulons	Classe De qualité	$f_{yB} (N/mm^2)$	$f_{uB} (N/mm^2)$
De charpente	4.6	240	400
	5.6	300	500
A haute résistance	8.8	640	800
	10.9	900	1000

**Les boulons de charpente métallique** Les boulons à haute résistance Les boulons de charpente métallique s'emploient couramment pour réaliser les assemblages faiblement sollicités des halles et des bâtiments. Les boulons a haute résistance s'utilisent en général pour les assemblages de ponts, ainsi que pour les assemblages fortement sollicités ou soumis à des effets dynamique. Seuls les boulons à haute

résistance peuvent être précontraints, La figure suivante montre les différentes parties composant un boulon de charpente et un boulon à haute résistance .ces derniers se distinguent des boulons de charpente métallique par l'inscription de la classe de qualité de l'acier du boulon sur leur tête et leurs rondelles,



**Figure IV.19.** Types de boulons

#### IV.3.2.3.Le Soudage

Le soudage présente, par rapport au boulonnage, plusieurs avantages:

- Il assure la continuité de matière, et de ce fait garantit une bonne transmission des sollicitations

Il dispense de pièces secondaire (goussets, attaches,.....)

- Il est de moindre encombrement et plus esthétique que le boulonnage.

En revanche, il présente divers inconvénients:

- Le métal de base doit être soudable.
- Le contrôle des soudures est nécessaire et onéreux.
- Le soudage exige une main d'œuvre qualifiée et un matériel spécifique.

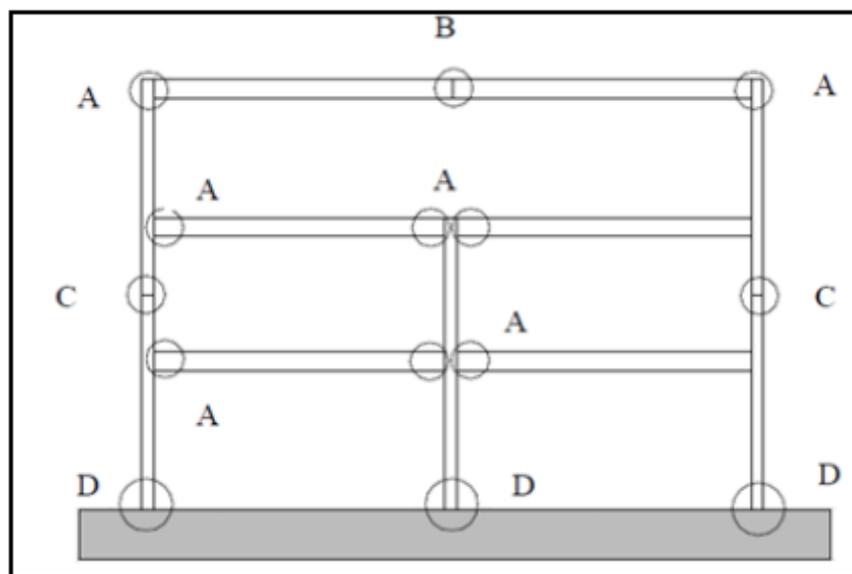


**Figure IV.20.** Soudure de la base d'un poteau

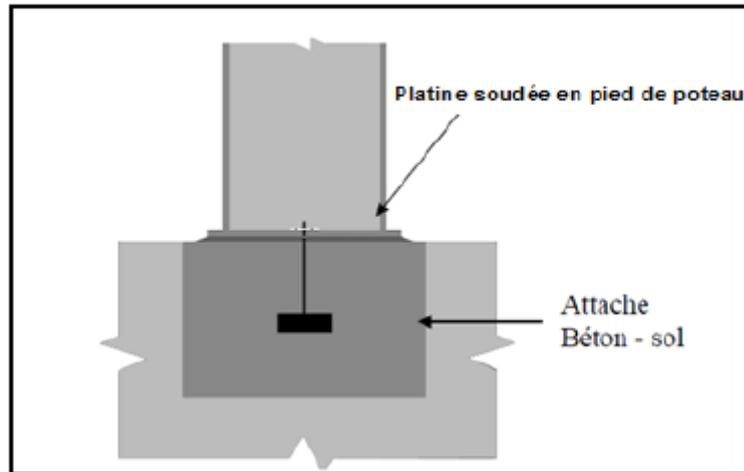
#### IV.3.3. Différentes Formes D'assemblage Rencontres En C.M

Dans les ossatures des bâtiments métalliques, les éléments structuraux sont reliés par des assemblages. Suivant la nature des éléments assemblés, on distingue (Figure 20) entre autres :

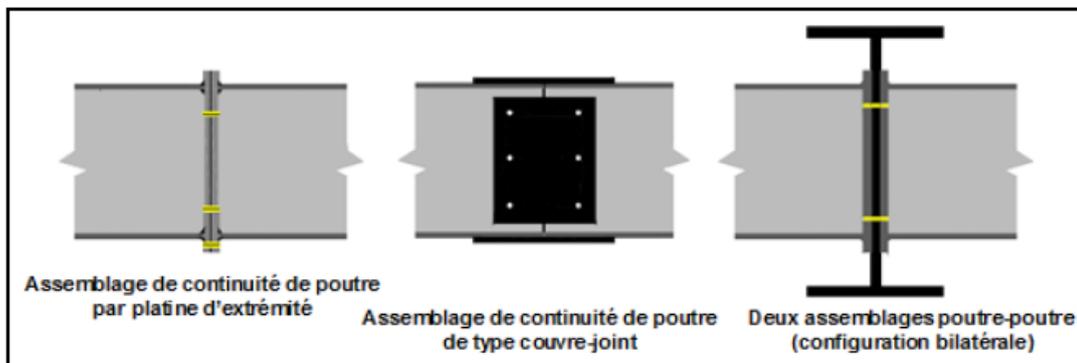
- Les assemblages poutre- poutre (B)
- Les assemblages poutre- poteau (A)
- Les assemblages de continuité(C)
- Les assemblages dans un système en treillis « un nœud » (E)
- Les assemblages poteau- fondation « pied de poteau » (D)



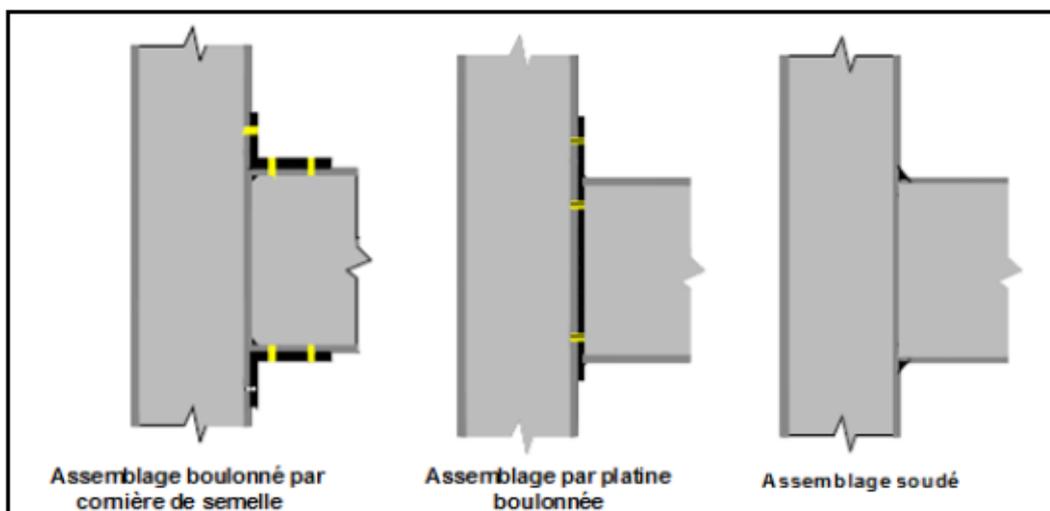
**Figure IV.21.** Différents types d'assemblage dans un bâtiment



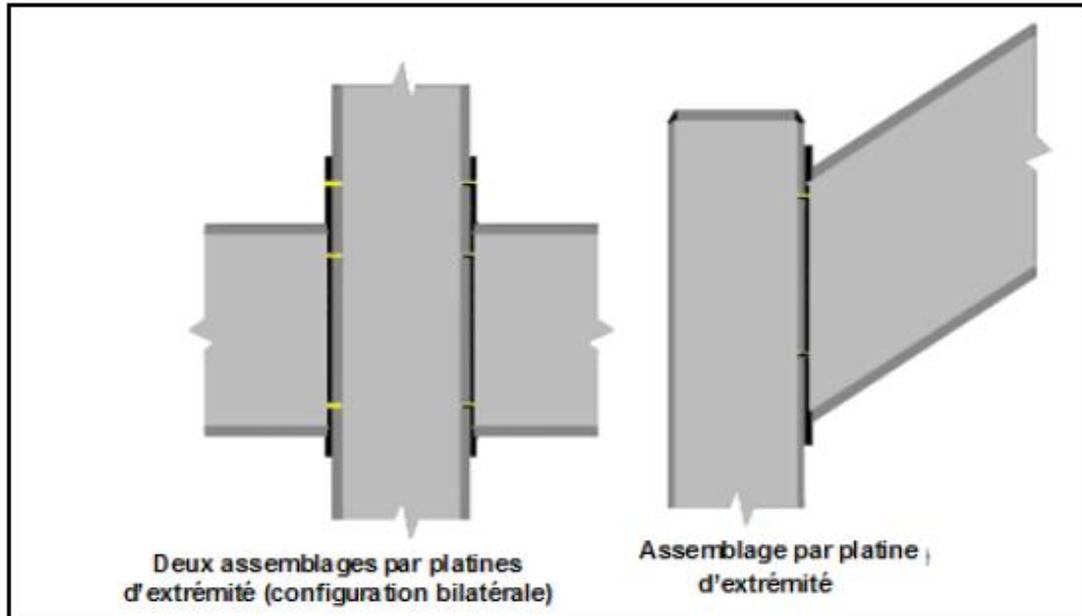
**Figure IV.22.** Attache dans une base de poteau



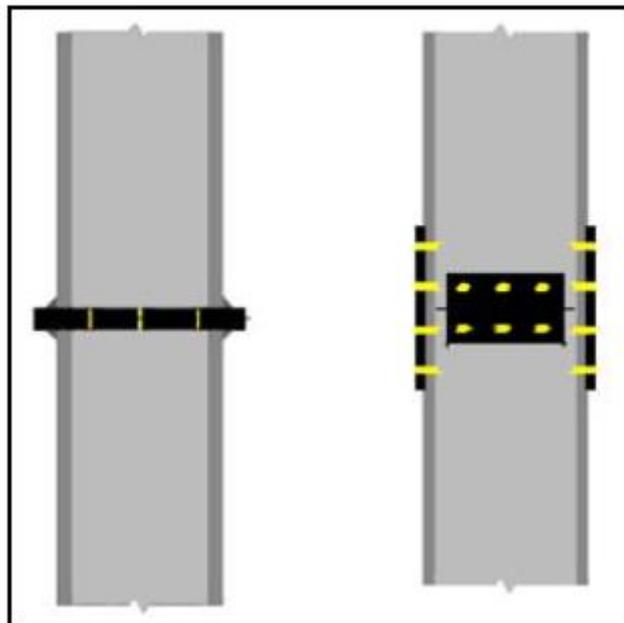
**Figure IV.23.** Assemblages poutre-poutre



**Figure IV.24.** Assemblage poteau-poutre (soudage et boulonnage)



**Figure IV.25.** Assemblage poteau-poutre



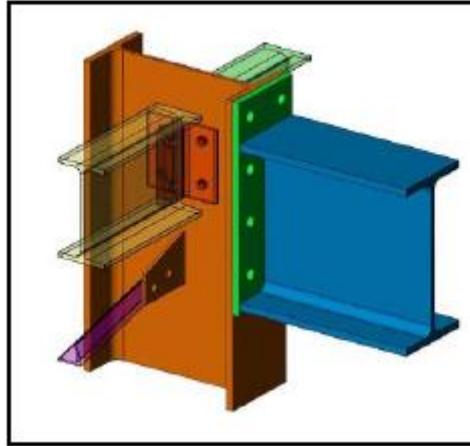
**Figure IV.26.** Assemblage poteau-poteau

#### IV.3.4. Exemple D'assemblage (Notion D'encastrement Et D'articulation)

##### IV.3.4.1. Encastrement

- **Exemple 1** : Liaison encastrement entre un poteau et une poutre.

Une platine est soudée en bout de poutre (L'âme et les ailes sont reliées à la platine par soudage), puis boulonnées sur le poteau (2 files de 4 boulons). Il n'y a pas de jeu entre la poutre et le poteau.

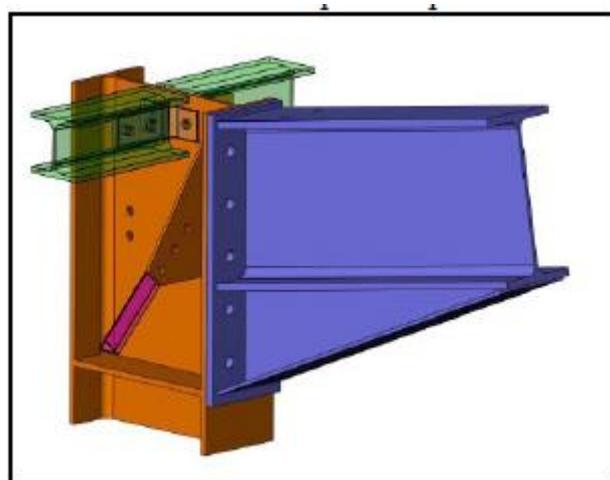


**Figure IV.27.** Encastrement poteau-poutre

- **Exemple 2** Liaison encastrement entre un poteau et un arbalétrier

Une platine est soudée au bout de l'arbalétrier. Un jarret est également soudé pour renforcer la liaison entre l'arbalétrier et le poteau.

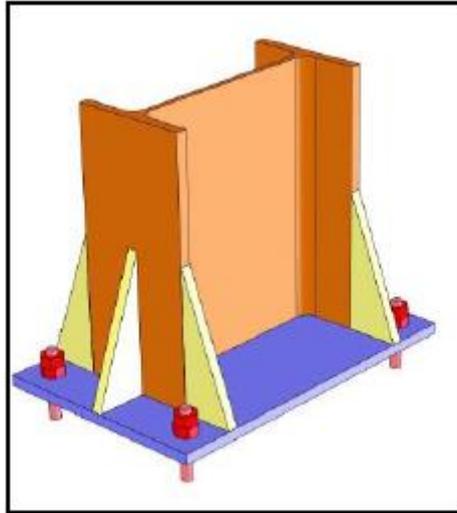
L'ensemble est fixé par 2 files de 5 boulons. On utilise un raidisseur soudé entre les ailes du poteau pour limiter les déformations.



**Figure IV.28.** Encastrement poteau-Arbalétrier

- **Exemple 3** Encastrement de pied de poteau

Une platine est soudée en pied de poteau. L'ensemble est fixé au sol par 4 tiges d'ancrage.



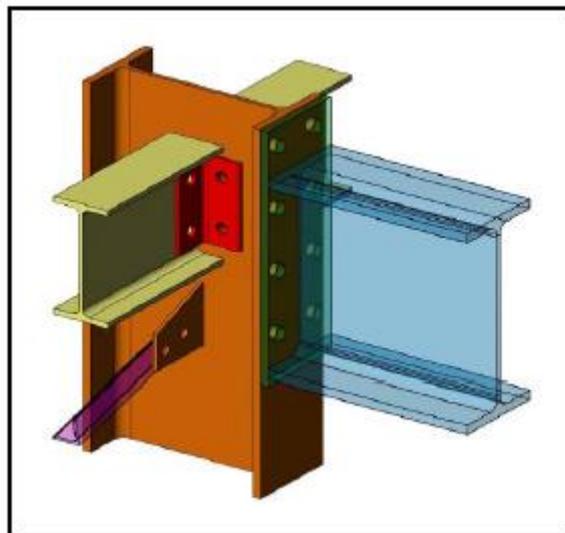
**Figure IV.29.** Poteau encastéré

#### IV.3.4.2. Articulation

- **Exemple 1** Articulation entre le poteau et les poutres horizontales (IPE).

Les poutres sont liées au poteau par des cornières boulonnées.

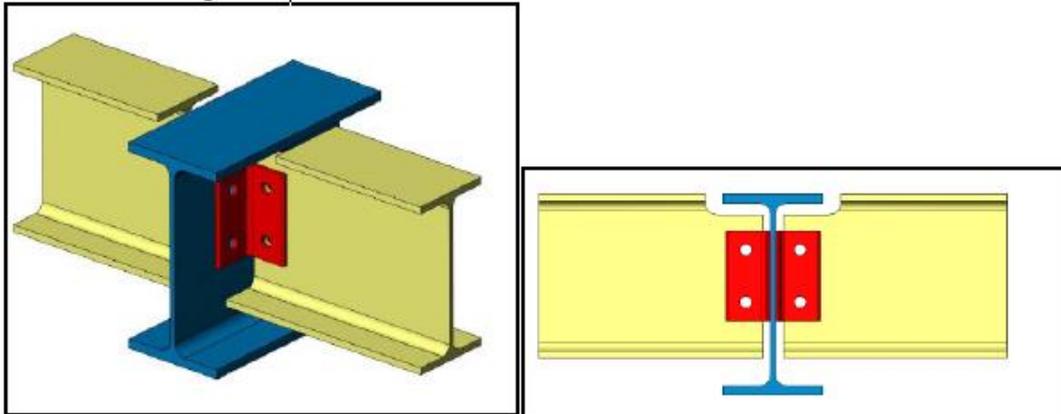
- Les cornières relient les âmes des deux éléments.
- Les ailes sont libres
- Il y a un jeu entre les poutres et le poteau



**Figure IV.30.** Articulation poteau-poutre par cornière

- **Exemple 2** Articulation entre une poutre et une solive de plancher.

Les solives sont fixées sur la poutre par des cornières boulonnées (les âmes sont reliées, les ailes sont libres). Il y a un jeu entre les solives et la poutre. Pour assurer la continuité de la solive de plancher, on réalise un **grugeage** pour assurer le passage de l'aile de la poutre



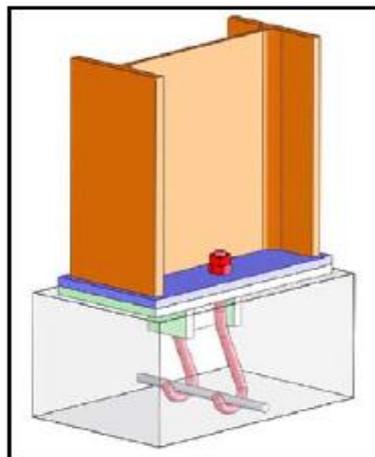
**Figure IV.31.** Articulation poutre-solive de plancher

- **Exemple 3** Articulation par platine pré-scannée.

Une platine est scannée dans une dalle de béton (une bêche assure un bon maintien) Une platine est soudée au pied du poteau.

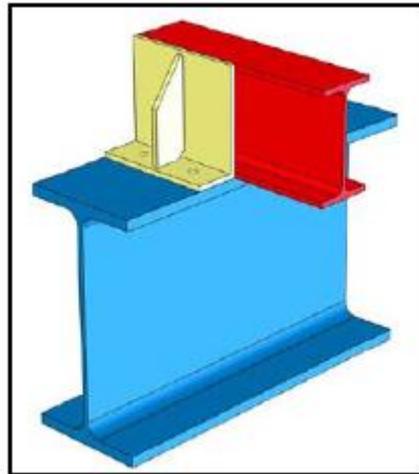
Les deux platines sont liées par deux tiges d'encrage + écrous.

Il est à noter que les tiges d'ancrage sont maintenues dans la dalle par une clé d'ancrage (tige horizontale).



**Figure IV.32.** Poteau Articulé

On trouve l'appui simple dans quelques cas de construction. Les deux poutres sont montées l'une sur l'autre et leurs axes ne sont pas parallèles.



**Figure IV.32.** Poutre appuyée