

## CHAPITRE 04 : STRUCTURES MÉTALLIQUES

### 4.1 Généralité :

L'industrie sidérurgique s'est développée à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle en proposant des produits de construction (laminés ou moulés) adaptés à la construction d'ossatures métalliques - Charpente Métallique. Ces éléments de construction "rigides" permettent de dégager des grands espaces utiles au sol. La portée des éléments d'ossature peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

En outre le poids de ces éléments d'ossature, comparé à ceux d'une même structure en béton armé (ou maçonnerie) est réduit et allège considérablement les charges transmises au sol.

La plupart des bâtiments industriels (usines, ateliers, entrepôts ...) et certains bâtiments du tertiaires (halles, hypermarchés, gymnases, salles polyvalentes...) ont une ossature métallique. Ce type de structure permet de fermer des surfaces importantes en limitant la présence de porteurs verticaux-poteaux et murs-

### 3.1 Choix de l'architecte pour la structure métallique :

Le choix de l'architecte se présente en deux parties architecturales :

- Utiliser l'ossature comme élément signifiant de l'architecture : soit en la montrant (structure apparente) à l'extérieur et (ou) à l'intérieur, soit en l'utilisant comme une structure de la mise en forme, même quand elle est habillée ou masquée. Prenant comme exemple la Tour Eiffel, où l'ossature métallique est le bâtiment. La technique de construction participe à l'architecture, l'architecte et son ingénieur de structure commandent cette conception.
- Considérer l'ossature comme un simple squelette assurant la stabilité de la construction, mais en effaçant sa lecture dans le bâtiment terminé. Par exemple la statue de la Liberté à New York, où la forme de l'ossature n'a aucun rapport apparent avec celle du monument vu de l'extérieur. La technique de construction ne participe pas à l'architecture, l'architecte conçoit d'abord des formes, que l'ingénieur s'efforce ensuite de rendre solides.

### 3.2 Avantages et inconvénients de la construction à ossature métallique :

À partir d'éléments industrialisés ou fabriqués en atelier, la construction métallique se caractérise tout d'abord par un système poteaux poutres, appelé ossature, offrant de nombreux avantages. Ceux-ci ont favorisé l'emploi de l'acier comme matériau de structure, très compétitif face à des matériaux de construction traditionnels tels que la maçonnerie et le bois, et les matériaux plus modernes tels que le béton armé et le béton précontraint. Nous rappelons, ici en bref, les principaux avantages de la construction en charpente d'acier, mais il paraît aussi utile de rappeler ces principaux inconvénients.

#### *Avantages principaux de la construction à ossature métallique :*

- Caractéristiques mécaniques très bonnes : résistance à la traction, à la compression, au cisaillement,
- Matériau ductile ayant une grande capacité d'absorption des énergies dues aux charges dynamiques (zone sismique, bâtiments industriels, engins de travaux de levage) et des chocs,
- Offre une large gamme de configurations de structure possibles : structure en globalité, éléments variés, assemblages variés (rigides, articulés, semi-rigides),
- Offre des grands espaces : grâce aux résistances élevées de l'acier,
- Charpente esthétique et sens de modernité,

- Rapidité de montage : réduction des frais sur la durée de chantier,
- Installation de chantier réduite : diminution des coûts,
- Aspect environnemental : gestion des déchets de chantier, matériau recyclable à 100 %,
- Construction facilement démontable, donc déplaçable et récupérable,
- Construction facile à réparer, facile à renforcer.

#### **Principaux inconvénients de la construction à ossature métallique :**

- Grand risque de corrosion par oxydation à l'air humide, brouillards, eaux de pluies, eaux en général,
- Baisse considérable de résistance mécanique à température élevée ( $> 100\text{ °C}$ ), et perte très sensibles de résistance à température très élevée ( $> 300\text{ °C}$ ) : due à un incendie par exemple. Ce facteur est important pour des ouvrages de type bâtiment où le risque d'incendie est élevé et les locaux sont fermés.
- Coût élevé des produits métalliques : cette situation est liée au commerce des matériaux de construction, et touche généralement les pays non industrialisés. La fabrication de l'acier appartient à l'industrie lourde, qui exige des moyens matériels importants et des compétences humaines. C'est le cas rencontré en Algérie où l'industrie sidérurgique reste très faible. Ceci est la cause principale du faible développement de la construction métallique dans notre pays. Bien sûr, à tous ces problèmes il y a des solutions techniques cependant, elles engendrent des frais supplémentaires qui s'ajoutent à l'enveloppe budgétaire du projet de construction.

### **3.3 Rappels des types de sollicitations :**

Les éléments de l'ossature assurent la reprise de l'ensemble des charges qui agissent sur la construction. Pour chaque élément constitutif, on procède à l'analyse de l'effort (nature et intensité) qu'il doit supporter, depuis le haut vers le bas de la construction.

Il existe quatre sollicitations de base auxquelles un solide peut être soumis :

- action d'un effort normal  $N$  : il y a traction ( $N > 0$ ) ou compression ( $N < 0$ ),
- action d'un effort tranchant (ou de cisaillement)  $T$ ,
- action d'un moment de flexion  $M$ ,
- action d'un moment de torsion  $M_t$ .

### **3.4 Éléments de la structure métallique des bâtiments à étages :**

#### **3.4.1 Les poteaux :**

Les poteaux sont des éléments structuraux qui transmettent les charges verticales des planchers aux fondations. Les moyens de transmettre ces charges verticales sont liés au système structural particulier utilisé pour la conception de l'ossature (figure (1)).

La position des poteaux dans le plan est dictée par la composition structurale. La plupart des grilles courantes de distribution sont carrées, rectangulaires ou parfois triangulaires, selon le choix du système structural global retenu (figure 2). L'espace entre les poteaux dépend de la résistance des poutres et de l'ossature de plancher. Celui-ci peut varier de 3 à 20 m et, dans les cas courants, il varie de 6 à 10 m.

La transmission des charges des planchers aux poteaux peut se produire directement à partir des poutres de plancher assemblées aux poteaux (figure 1a) ou de manière indirecte. La transmission des charges indirectes implique l'usage d'une poutre principale « de transfert » (figure 1b) qui résiste à toutes les charges transmises par les poteaux situés au-dessus.

Dans les systèmes suspendus (figure 1c), la transmission des charges verticales est beaucoup plus compliquée. Elle est directement assurée par des barres en traction (suspentes), suspendues aux éléments

de poutres situés au sommet de la construction et qui supportent la charge verticale totale de tous les planchers. Un nombre limité de poteaux transmet la charge totale aux fondations.

Le choix de la position et de l'espacement des poteaux dépend du système structural qui doit satisfaire aux exigences fonctionnelles et économiques.

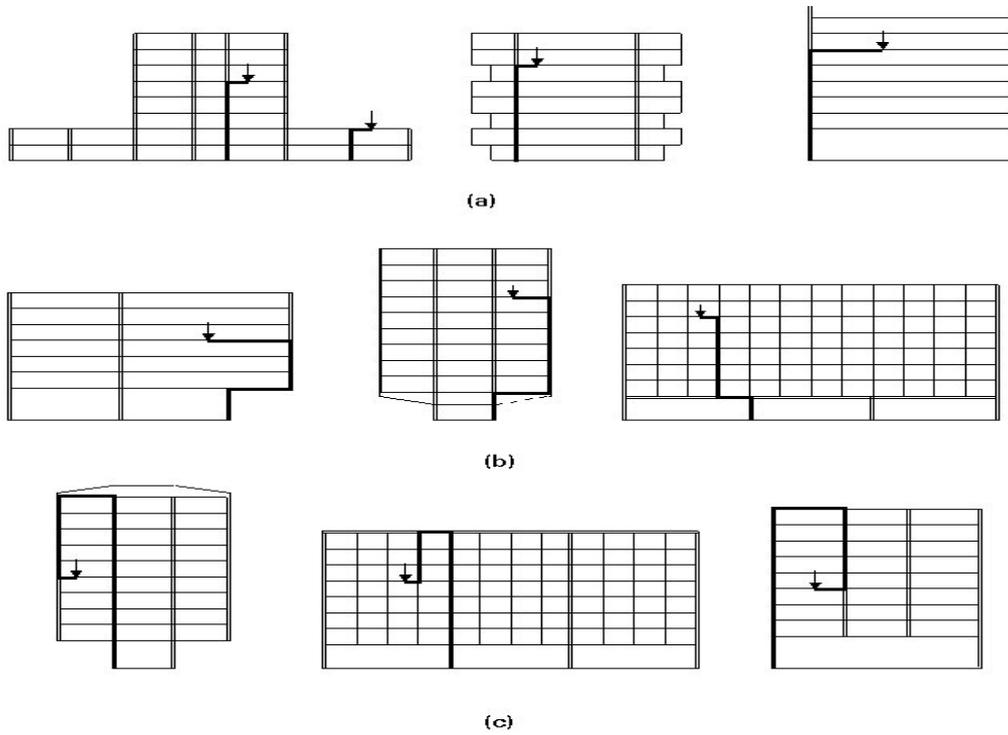


Figure N°1.

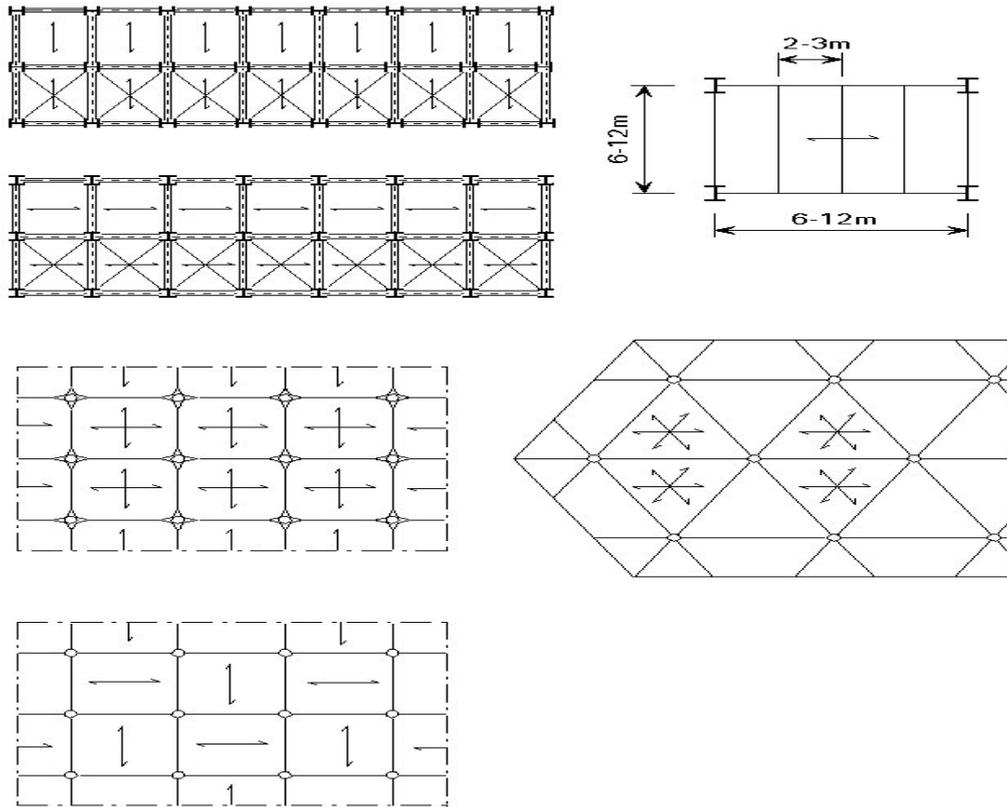


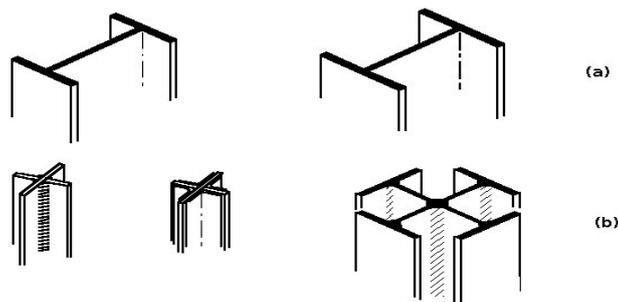
Figure N°2.

Les formes des sections droites des poteaux les plus communément utilisées peuvent se subdiviser (figure 3) :

- En sections ouvertes ;
- En sections creuses.

Les sections ouvertes sont principalement des profilés laminés standards en I ou en H (figure 3a). Les sections en double T peuvent être reconstituées par soudage. Les sections en forme de croix peuvent être obtenues par soudage de profilés en cornières, de plats ou de profilés en double T (figure 3b).

Les profils creux peuvent être de section circulaire, carrée ou rectangulaire (figure 3c). Ils peuvent aussi être constitués à partir de plats ou de profilés en double T (figure 3d). Les sections creuses carrées et circulaires ont l'avantage d'avoir la même résistance dans les deux directions principales, ce qui permet d'obtenir la section de dimension minimale. Quelquefois les sections creuses peuvent être remplies de béton, ce qui donne à la fois un accroissement de résistance et une amélioration significative de la résistance au feu (> 60 mn) (figure 3e). Cependant les assemblages poutre-poteau sont plus compliqués que dans le cas d'assemblages de sections en I.



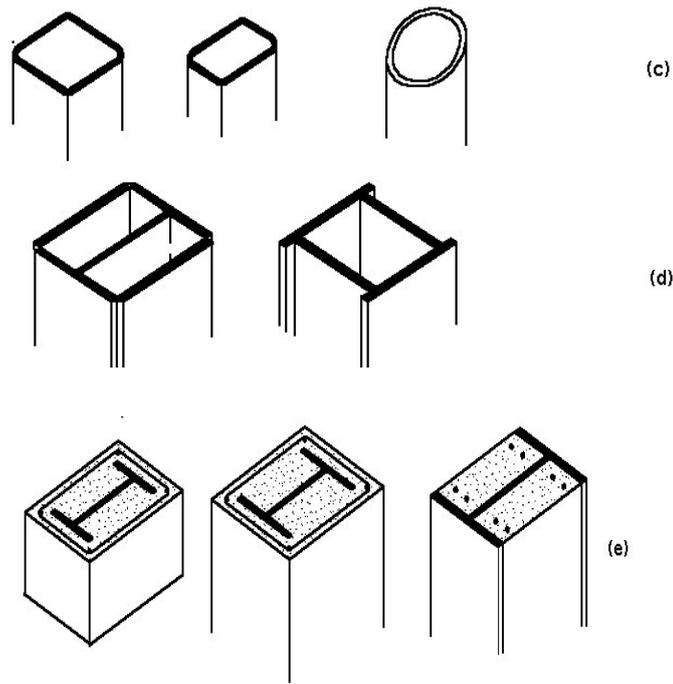


Figure N°3.

### 3.4.2 Les poutres :

Les poutres supportent les éléments de plancher et transmettent les charges verticales aux poteaux.

Dans une ossature d'ouvrage rectangulaire type, les poutres comprennent les barres horizontales qui franchissent l'espace entre deux poteaux adjacents ; les poutres secondaires sont également utilisées pour transmettre la charge de plancher aux poutres principales (poutres primaires).

Dans les structures multi-étages, les formes de section les plus courantes pour les poutres sont les profils laminés en I (figure 4a) ou en H (figure 4c) avec des hauteurs de poutres allant de **80 à 600 mm**. Dans quelques cas on utilise des U, simples ou doubles (figure 4b).

Quand une plus grande profondeur est nécessaire, des sections reconstituées peuvent être utilisées. Ces sections sont fabriquées par soudage et sont généralement de forme doublement symétrique (figure 4d) ou non symétrique (figure 4e), la dernière étant plus avantageuse pour les sections mixtes acier-béton. Par combinaison de plats et/ou de profilés, on peut fabriquer soit des sections en caisson (figure 4f), soit des sections ouvertes (figure 4g).

Quelquefois on pratique des ouvertures dans les âmes des poutres de façon à permettre le passage horizontal des fluides et réseaux divers (eau ou gaz), les câbles (pour l'électricité et le téléphone), les conduits (pour l'air conditionné), etc. Les ouvertures peuvent être circulaires (figure 4h) ou carrées avec les raidisseurs nécessaires dans l'âme. Une autre solution à ce problème est donnée par l'utilisation de poutres alvéolaires (figure 4i) qui peuvent être obtenues par soudage de deux parties d'un profilé en double T dont l'âme a été auparavant oxycoupée le long d'une ligne trapézoïdale.

Pour les ouvrages, le domaine commun du rapport portée/hauteur des poutres est de **15 à 30** de façon à réaliser le dimensionnement le plus efficace.

En plus de la résistance, les poutres doivent avoir des rigidités suffisantes pour éviter de grandes déformations qui peuvent être incompatibles avec les éléments non structuraux (tels que les murs de partition). À cet effet, la flèche maximum à mi-portée d'une poutre est usuellement limitée à une fraction de la portée égale au **1/400 - 1/500**. Dans le cas où cette limitation est trop sévère, une déformation initiale

appropriée (une contre-flèche) égale et opposée à celle due aux charges permanentes peut être donnée à la poutre.

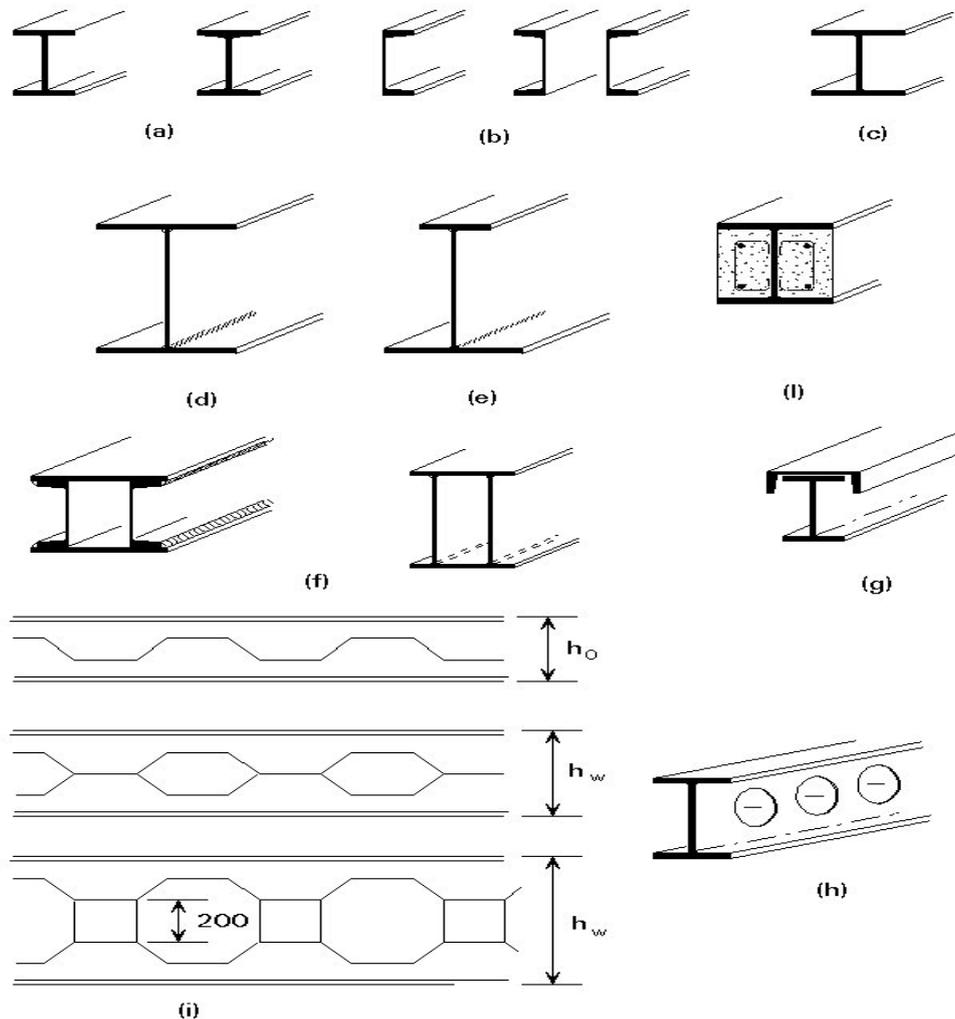


Figure N°4.

Les sections d'acier peuvent être partiellement enrobées de béton par remplissage de l'espace compris entre les semelles et l'âme de la section. Les sections partiellement enrobées sont résistantes au feu sans protection conventionnelle particulière (figure 3e). Pour des durées plus importantes de résistance au feu, des armatures complémentaires de résistance au feu sont exigées.

### 3.4.3 Les planchers :

Les planchers doivent résister aux charges verticales s'appliquant directement sur eux. Ils sont usuellement constitués de dalles supportées par des poutres secondaires. L'espace entre les poutres support doit être compatible avec la résistance de la dalle de plancher. Les dalles de plancher peuvent être faites soit de prédalles, soit de dalles coulées en place ou de dalles mixtes utilisant un bac acier. Nombre d'options sont disponibles :

- dalle coulée en place sur coffrage temporaire (figure 5a),
- prédalles minces (de 40 à 50 mm d'épaisseur) avec coulage sur le site d'un béton de structure formant la partie résistante de la dalle (figure 5b),

- des éléments en béton préfabriqué plus épais qui n'exigent aucun coulage additionnel de béton (figure 5c),
- bac acier agissant en tant que coffrage perdu (figure 6b),
- bac acier avec des bossages ou des indentations adaptés qui permettent à celui-ci d'agir de manière mixte avec la dalle de béton (figure 6c).

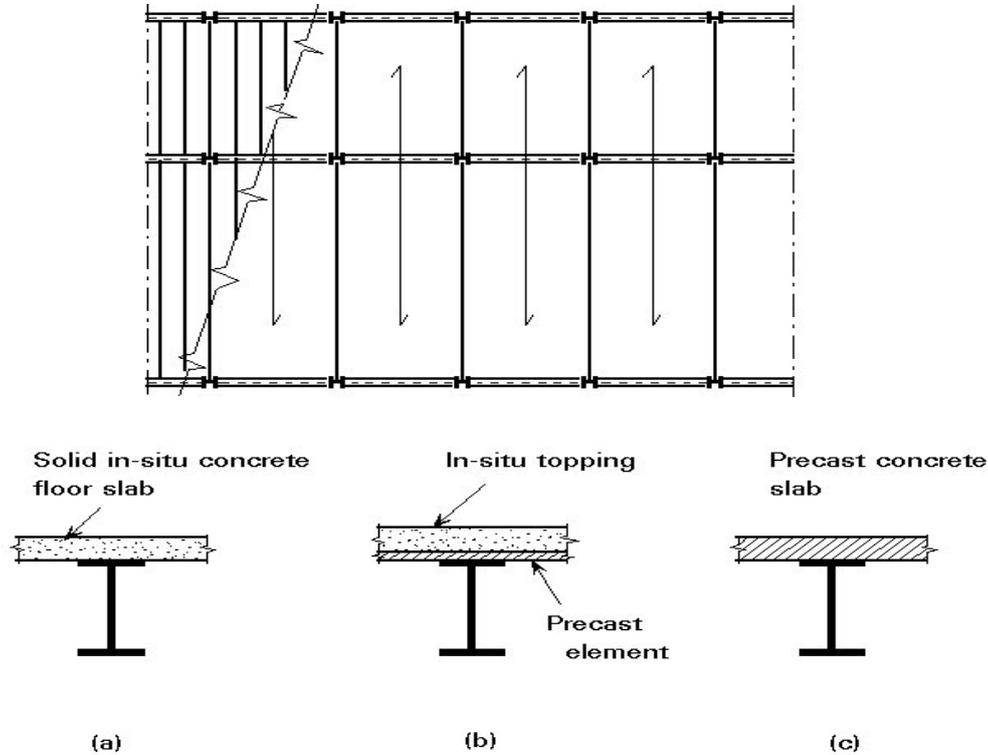


Figure N°5.

Les portées types pour les dalles en béton sont généralement de 4 à 7 m, évitant ainsi la nécessité de poutres secondaires. Pour les dalles mixtes, différentes formes de sections droites du bac acier sont disponibles (figure 6a). Elles sont classées en trois catégories selon leur résistance :

- les profils à section trapézoïdale sans raidisseur avec des profondeurs d'onde allant jusqu'à 80 mm (figure 6c),
- les profilés à section trapézoïdale avec des raidisseurs longitudinaux à la fois dans l'âme et dans les semelles avec des profondeurs d'onde allant jusqu'à 100 mm (figure 6d),
- les profilés avec des raidisseurs longitudinaux et transversaux ayant des profondeurs d'onde allant jusqu'à 220 mm (figure 6e).

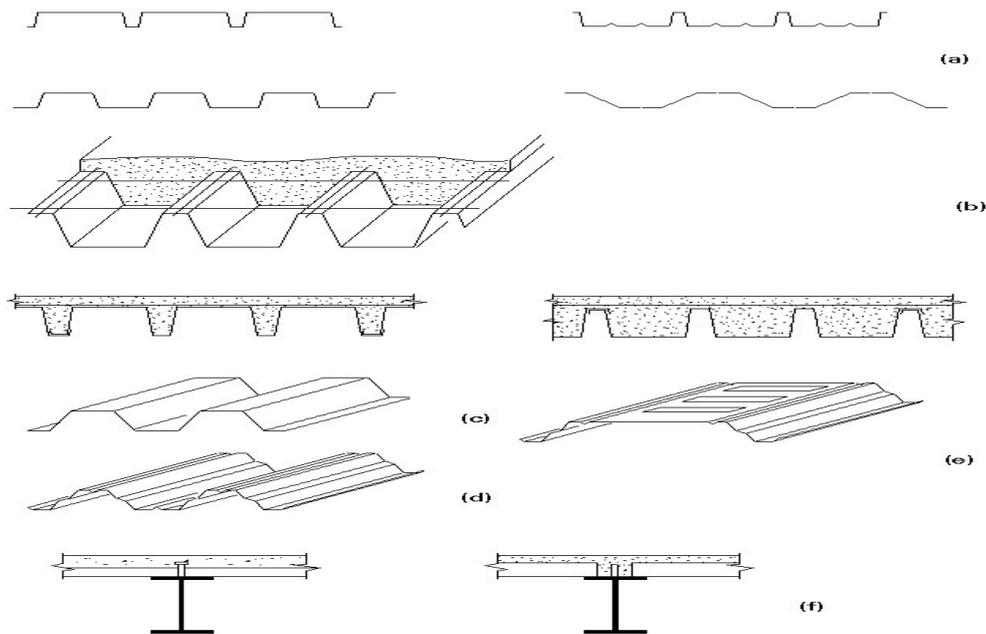


Figure N°6.

Le domaine des dalles mixtes, en longueur, va de 2 à 4 m pour ce qui concerne la première catégorie, de 3 à 5 m pour la seconde et de 5 à 7 m pour la troisième. Les poutres de plancher secondaires peuvent être évitées dans le dernier cas.

Les portées admissibles pour le bac acier sont conditionnées par les conditions de mise en œuvre et, en particulier, lorsque des étais provisoires sont utilisés. Le mieux est d'éviter de tels étais provisoires puisque le principal avantage de l'utilisation des bacs acier, c'est-à-dire la rapidité de mise en œuvre, est fortement diminuée.

Pour accroître la résistance et la rigidité des poutres de plancher, un système mixte acier-béton peut être obtenu au moyen de soudage de goujons sur la semelle supérieure de la poutre (figure 6f). Dans ce cas, la dalle et la poutre doivent être calculées de manière mixte selon la théorie classique.

### 3.4.4 Contreventements :

Les systèmes de contreventement sont utilisés pour résister aux forces horizontales (charges de vent, actions sismiques) et pour transmettre celles-ci aux fondations.

Lorsqu'une charge horizontale  $F$  (figure 7a) est concentrée en n'importe quel point de la façade de l'ouvrage, elle est transmise aux deux planchers adjacents au moyen des éléments de bardage (figure 7b).

Les effets des charges horizontales  $H$  agissant sur la dalle horizontale de plancher sont distribués aux éléments support verticaux qui sont situés dans des positions stratégiques de l'ossature (lignes en pointillés de la figure 7c) au moyen d'éléments résistants appropriés horizontaux dans le plancher.

Les éléments de support verticaux sont appelés les contreventements verticaux ; les éléments résistants horizontaux sont les contreventements horizontaux qui sont situés dans chaque plancher.

Lorsque des contreventements horizontaux sont nécessaires, ils sont choisis en forme de barres diagonales distribuées dans le plan de chaque plancher, comme ceci est montré à la figure 7c.

Si des bacs acier sont utilisés, les contreventements peuvent être remplacés par l'action de diaphragmes lorsque ces bacs sont fixés de manière adéquate sur les poutres.

Les contreventements verticaux et horizontaux représentent, ensemble, le système de contreventement global qui assure le transfert de toutes les forces horizontales aux fondations.

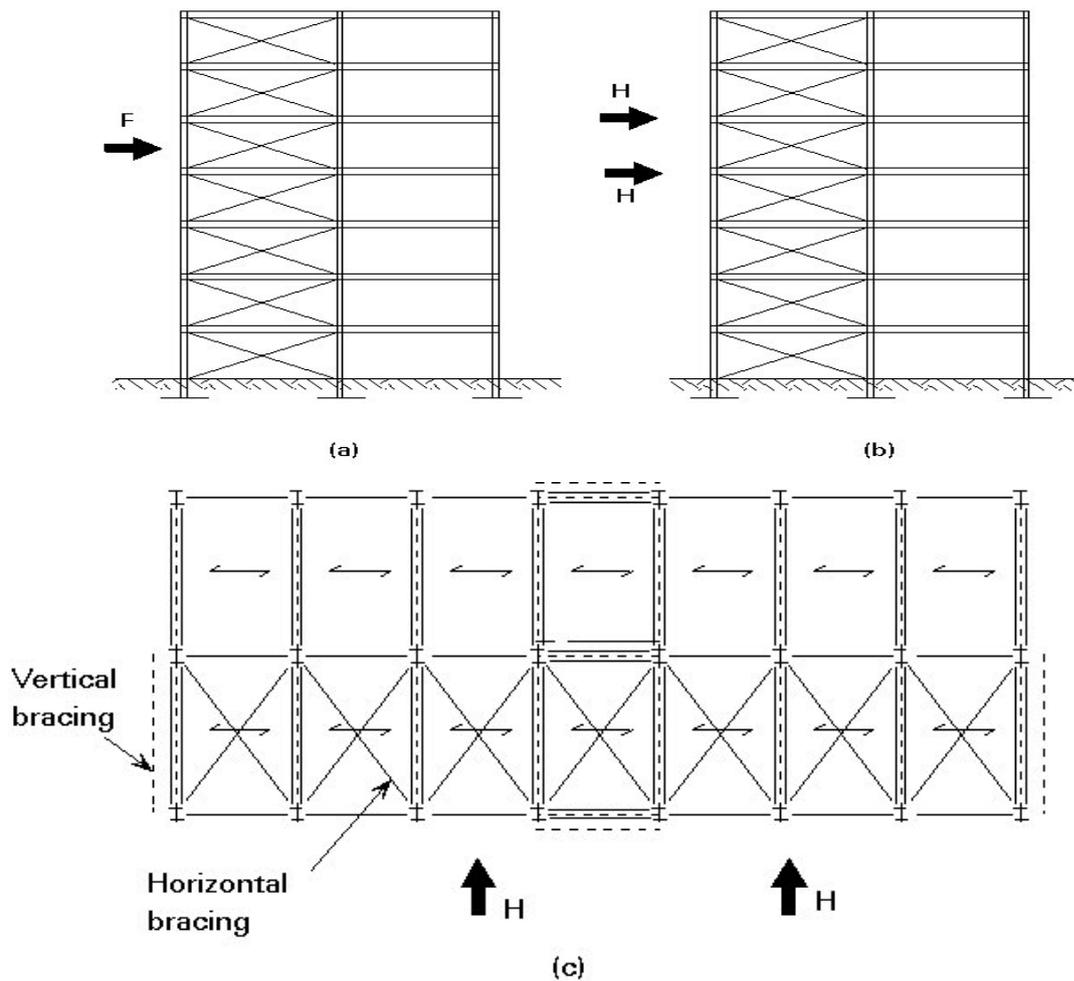


Figure N°7.

Les contreventements verticaux sont caractérisés par différents arrangements des barres diagonales dans l'ossature acier. Ils s'identifient comme suit (figure 7) :

- ✓ diagonale simple,
- ✓ contreventement en croix (croix de Saint-André),
- ✓ contreventement en forme de V inversé,
- ✓ portique asymétrique,
- ✓ portique symétrique,
- ✓ contreventement en forme de V.

Une alternative aux contreventements en acier est fournie par les murs en béton armé (voiles) ou les noyaux en béton qui sont dimensionnés de façon à résister aux forces horizontales. Dans ces systèmes, appelés les systèmes duo, le squelette acier de l'ossature est soumis aux forces verticales seulement. Les noyaux en béton armé sont habituellement positionnés autour des cages d'escaliers et d'ascenseurs.

Normalement, la dalle de plancher peut être dimensionnée pour résister aux forces dans le plan afin d'éviter l'utilisation de diagonales horizontales. Ceci est le cas pour les dalles en béton armé coulées en place ou pour les dalles mixtes avec des connecteurs appropriés.

### 3.5 Bâtiments industriels

Il existe une large variété de types de bâtiments, depuis les structures majeures comme les centrales électriques ou les usines de traitement, jusqu'aux petites unités de production dans le cadre d'exigences de qualité.

Le type le plus courant est la structure rectangulaire simple (figure 1), généralement à un niveau, délimitant un espace abrité des intempéries dans un environnement favorable à une activité de production ou de stockage. Le prix de revient est toujours la considération principale, mais il est possible avec un budget raisonnable de réaliser un bâtiment de bonne apparence, nécessitant un entretien modéré. Lorsqu'une facilité d'extension et une flexibilité sont désirées, le prix envisagé limite généralement les réserves pouvant utilement être incluses dans la conception pour ces exigences particulières. Même si une économie sur le prix des futures modifications spécifiques peut être réalisée moyennant des réserves convenables, par exemple en évitant l'utilisation de portiques à pignon (figure 2), des changements dans les procédés de réalisation ou dans l'utilisation du bâtiment peuvent entraîner une variation de ces modifications requises.

Lorsque, pour des raisons de prestige, le budget est plus large, un plan de forme complexe ou des arrangements structuraux inhabituels peuvent donner un bâtiment d'une certaine signification architecturale.

Sachant que de nombreux traits sont communs à tous les bâtiments industriels, cette leçon traite principalement des bâtiments à un niveau de construction et de forme simple.

#### 3.5.1 Structure en acier pour bâtiments industriels :

Comparé à d'autres matériaux, particulièrement au béton armé et au béton précontraint, l'acier a des avantages majeurs. Son haut rapport résistance - poids et sa forte résistance à la traction et à la compression permet aux bâtiments métalliques d'être de construction relativement légère. L'acier est par conséquent le matériau le plus adapté pour les toitures de grande portée, pour lesquelles le poids propre est d'une importance primordiale. Les bâtiments en acier peuvent également être modifiés pour une extension ou un changement d'utilisation, du fait de la facilité avec laquelle les sections d'acier peuvent être connectées à l'existant.

L'acier n'est pas uniquement un matériau polyvalent en ce qui concerne la structure d'un bâtiment, mais une large variété de bardages a également été imaginée, utilisant la résistance obtenue par pliage de tôles minces selon des formes profilées (figure 3). Des systèmes de bardage isolés avec isolants spéciaux sont aujourd'hui largement utilisés pour le revêtement en toiture et en façade. Ces bardages ont une bonne apparence et durabilité et peuvent être rapidement fixés.

La structure d'un bâtiment métallique, spécialement pour un bâtiment industriel, est rapidement élevée et couverte, à condition qu'une enveloppe étanche permette la réalisation du sol, l'installation des services et la réalisation des finitions internes suffisamment tôt. Sachant que la planification de la construction est toujours reliée à la date de remise des travaux la plus précoce possible fixée par le planning de production, le temps gagné en construction est généralement très profitable.

Dans un environnement fermé et sec, l'acier ne rouille pas et une protection contre la corrosion est uniquement nécessaire pour la période de montage. Pour d'autres environnements, il existe des systèmes de protection qui pour un coût et une maintenance convenables, préservent adéquatement de la corrosion.

Les bâtiments industriels à un niveau sont généralement exemptés de protection structurale contre le feu. L'extension du feu sous les limites du bâtiment ne doit pas entraîner la ruine de la structure. Cette requête peut être satisfaite par la réalisation murs anti feu et grâce à la restriction apparaissant en pratique entre les fondations et les poteaux qu'elles supportent. Page 4 Un futur Maître d'Ouvrage peut être en possession d'un dossier de conception détaillé issu de la construction antérieure d'autres unités industrielles. Plus fréquemment, il est assisté dans le choix d'un bâtiment convenable en complément par une liste détaillée de recommandations, ce qui lui permet de préparer un dossier de conception. Les options initiales doivent

tout d'abord être prises dans le respect des options de localisation préférentielle, d'acquisition de site et de besoins environnementaux. Il est également nécessaire de définir les dimensions principales, le processus des opérations, le plan de masse, les besoins en termes de fondations, les systèmes de manutention, l'éclairage, le contrôle environnemental, la desserte routière, l'accès et l'installation du personnel de chantier.

### 3.6.2 Choix d'un bâtiment industriel :

Un futur Maître d'Ouvrage peut être en possession d'un dossier de conception détaillé issu de la construction antérieure d'autres unités industrielles. Plus fréquemment, il est assisté dans le choix d'un bâtiment convenable en complément par une liste détaillée de recommandations, ce qui lui permet de préparer un dossier de conception. Les options initiales doivent tout d'abord être prises dans le respect des options de localisation préférentielle, d'acquisition de site et de besoins environnementaux. Il est également nécessaire de définir les dimensions principales, le processus des opérations, le plan de masse, les besoins en termes de fondations, les systèmes de manutention, l'éclairage, le contrôle environnemental, la desserte routière, l'accès et l'installation du personnel de chantier.

La sélection préliminaire doit être faite entre un bâtiment spécialement conçu pour le Maître d'Ouvrage, une usine construite à majorité avec des composants structurels standard ou l'adaptation d'un bâtiment existant. Ce dernier peut être soit une unité bâtie dans le cadre d'un développement spéculatif, soit une unité qui a été abandonnée.

La localisation des poteaux et de la hauteur libre internes sont toujours importants et la prise en compte seule de ces conditions peut être déterminante dans le choix. L'avantage de liberté que l'on tire à planifier la construction en respectant strictement l'ensemble des conditions et à prévoir les développements futurs est très précieux. Cependant, sauf s'il existe des raisons exceptionnelles comme la permanence d'une utilisation spécifique, il est peu judicieux de concevoir un bâtiment industriel exclusivement pour un seul procédé d'utilisation, sachant que des évolutions spéciales appropriées à ce processus peuvent rendre le développement ultérieur difficile.

### 3.6.3 Forme des bâtiments industriels :

Du fait de l'économie qu'elle engendre, la forme de bâtiment la plus largement utilisée est le portique à une ou plusieurs travées articulé en pied et à toiture en pente, typiquement d'une portée de 20 à 30 m, avec 6 m entre axes dans le sens longitudinal (figure 4). Les profilés en I laminés à chaud, soudés ou formés à froid sont généralement utilisés pour les éléments.

Depuis quelques années, on observe un accroissement d'utilisation des profilés soudés. Cette augmentation est le résultat des progrès réalisés dans l'automatisation de la soudure et dans la capacité d'adapter la section aux forces internes.

Sachant que les poteaux intérieurs empêchent la pleine utilisation d'un espace appréciable autour d'eux, leur espacement peut être augmenté en utilisant des profilés en I d'âme élancée pour supporter les arbalétriers du portique. Pour ce type de toiture, le bardage est généralement un platelage métallique isolant qui peut également être utilisé pour les murs de façade supérieurs. La pénétration de la lumière naturelle est possible par l'utilisation d'un bardage translucide en toiture.

Lorsque des profilés laminés à chaud sont utilisés, des jarrets (figure 5) sont habituellement mis en place au niveau des avancées de toit et du faîtage. Ces jarrets permettent d'approfondir la section totale et donc de réduire les efforts de boulonnage. En étendant les régions soutenues par jarrets à l'arbalétrier, la ferme est ainsi raidie et renforcée.

Les poutres treillis (figure 6) sont plus légères que les fermes par arbalétrier pour les grandes portées, mais la main d'oeuvre additionnelle augmente les prix de fabrication. Si l'on se base uniquement sur des considérations structurales, les systèmes treillis sont susceptibles d'être rentables pour des portées

supérieures à 20m. Les poutres treillis de toiture peuvent également être utilisées pour des structures supportant de lourds ponts roulants (figure 7).

Une large variété de profilés structuraux peut être utilisée dans les poutres treillis, incluant les simples ou doubles cornières, les profilés en T ou en H ou les sections creuses (figure 8). Pour de faibles charges, les profilés formés à froid peuvent être utilisés comme membrures, avec des barres de renforcement comme âme (figure 9).

Les désavantages des toitures à double pente à travées multiples sont qu'elles nécessitent la mise en place de pannes sablières et de dispositifs de récupération des eaux de pluie en partie intérieure qui sont une source possible de fuites et l'accès à un dispositif monté en externe sur le toit est difficile.

La forme de toiture la plus polyvalente est la toiture appelée toiture plate, couverte d'une membrane isolante posée sur la couverture en métal (figure 10). Cette disposition permet une grande liberté du fait de la forme plane et élimine le besoin de sablières.

internes, même si quelques dispositifs de récupération des eaux peuvent être nécessaires si la toiture est très étendue. Le montage et la protection contre les intempéries des éléments externes de la toiture sont facilement réalisés et l'accès peut réellement être assuré.

Les toitures planes peuvent être supportées par des lisses laminées ou formées à froid posées sur les poutres en I principales ou les poutres treillis. Pour les plus petites structures, la couverture peut directement porter d'un portique à l'autre, sans qu'il y ait besoin de lisses

Lorsque les équipements sont étendus et qu'il existe de nombreuses unités d'appareillage d'équipement sur la toiture, des poutrelles alvéolaires ou des systèmes grillagés à deux plans de poutres croisées (figures 11 et 12) peuvent être tout à fait convenables pour les toitures planes.

Le grillage à deux dimensions distribue les charges locales plus efficacement qu'aucune autre forme structurale. Le support de la couverture de toiture est directement assuré par le plan supérieur et le support de l'équipement par le plan inférieur de la structure grillagée. Les poutres alvéolaires présentent un moment résistant plus important que les poutres en I.

L'apport en éclairage naturel des toitures planes est cher, du fait de la nécessité de contrôle de l'éclairage ou de l'utilisation de dômes d'éclairage. Les toitures planes sont plus communes aux industries pour lesquelles les exigences en éclairage naturel sont minimales. Page 7 La poutre au vent en elle-même assure une restrainte aux extrémités des poteaux en pignon. Les travées contreventées d'extrémité assurent des points d'ancrage auxquels sont attachés les treillis de stabilisation longitudinaux, formés habituellement des lisses. Durant la construction, le contreventement facilite l'équarrissage et l'installation de la plomberie du bâtiment, en même temps qu'il assure l'essentiel de la stabilité.

### 3.6.4 Stabilité des bâtiments industriels :

Il est essentiel de s'assurer des charges appliquées à la structure et de déterminer le cheminement des efforts du revêtement aux lisses et poutres de rive de toiture et à travers les portiques principaux jusqu'aux fondations. Les charges peuvent provenir du poids propre, des charges de neige et de vent et parfois des grues ou des impacts causés par les chariots élévateurs.

La résistance globale des bâtiments industriels simples à un niveau vis-à-vis des efforts horizontaux est généralement simple à obtenir. Un des attraits des bâtiments à portiques réside dans le fait que la stabilité dans le plan résulte de la rigidité des connexions de la ferme. De ce fait, seul un contreventement de stabilisation entre les portiques est requis, aligné avec la poutre au vent correspondante en toiture.

Pour les bâtiments courts, le contreventement d'une des travées d'extrémité peut suffire. Pour les bâtiments plus longs, le contreventement de deux travées ou plus peut être nécessaire.

La poutre au vent en elle-même assure une restrainte aux extrémités des poteaux en pignon. Les travées contreventées d'extrémité assurent des points d'ancrage auxquels sont attachés les treillis de stabilisation

longitudinaux, formés habituellement des lisses. Durant la construction, le contreventement facilite l'équarrissage et l'installation de la plomberie du bâtiment, en même temps qu'il assure l'essentiel de la stabilité.

Pour les portiques avec poutre treillis (figure 6), la stabilité dans le plan peut être assurée en connectant les membrures supérieure et inférieure au poteau.

Si les poutres de toiture du bâtiment sont des poutres treillis (figure 7) ou si seules les membrures supérieures sont connectées aux poteaux (figure 13), le portique est considéré comme articulé à ses extrémités. Pour assurer la stabilité dans le plan, il convient soit d'encastrer les pieds de poteau soit de disposer des poutres longitudinales dans le plan de la toiture (figure 14). Ces poutres portent entre les extrémités de pignon qui doivent être contreventés de manière appropriée. Si le bâtiment est long ou s'il est divisé par des joints de dilatation, le contreventement longitudinal peut ne pas être praticable et les poteaux doivent alors avoir des bases encastrees.

Les bâtiments utilisant des poutres treillis nécessitent également un contreventement pour assurer la stabilité longitudinale.

Les éléments de contreventement des bâtiments industriels sont communément faits de sections circulaires minces, de barres ou de cornières.

Lorsqu'une grue est prévue, les exigences de stabilité nécessitent un examen plus approfondi, car les poussées longitudinale et transversale de la grue augmentent les efforts dans les systèmes de contreventement.