

Faculté de technologie
Département de génie civil
Option : matériaux
Mastère 1 semestre 2
Module : OUVRAGES EN ACIER

CHAPITRE I : BATIMENT A USAGE INDUSTRIEL

1 Introduction

2 Facteurs-clés pour la conception

- 2-1 Formes de Bâtiments Industriels
- 2-2 Sécurité Incendie
- 2-3 Physique du Bâtiment
- 2-4 Charges
- 2-5 Considérations Relatives à la Conception
- 2-6 Dalles
- 2-7 Intégration des Équipements Techniques
- 2-8 Eclairage

3 Structures Porteuses

- 3-1 Portal frame structures
- 3-2 Structures poteaux-poutres
- 3-3 Contreventements et composants secondaires
- 3-4 Assemblages

4 Systèmes de toits et de façades

- Systèmes de toits
- Systèmes de murs et façades



Introduction

Les constructions industrielles ou les volumes de grandes dimensions sont très courants dans les bâtiments de parcs industriels, de loisirs et de sports. Leurs fonctionnalités ainsi que leur qualité architecturale sont influencées par de nombreux facteurs, par exemple le plan d'implantation,

.la polyvalence et la qualité souhaitée pour le bâtiment.

L'acier offre de nombreuses possibilités pour un usage fonctionnel à la fois agréable et flexible

Pour les bâtiments offrant un grand volume l'aspect économique de la structure joue un rôle important. Pour les grandes portées, le dimensionnement est optimisé afin de réduire l'utilisation de matériaux ,les coûts et le travail de montage. De plus en plus, les bâtiments sont conçus afin de réduire les dépenses énergétiques et être très respectueux de l'environnement.

Les bâtiments industriels sont composés d'une ossature en portiques et des revêtements métalliques de tous types . La technique permet de créer de grands volumes ouverts efficaces, faciles à entretenir et adaptables en fonction des évolutions de la demande. L'acier est choisi pour des raisons économiques, mais également pour d'autres raisons telles que la résistance au feu, la qualité architecturale et le respect de l'environnement.

Dans la plupart des cas, un bâtiment industriel n'est pas constitué d'une structure unique, mais il est complété par des espaces de bureaux et d'administration ou par d'autres ouvrages tels des auvents .Ces éléments additionnels peuvent être conçus de sorte à s'intégrer à la conception globale du bâtiment.

Cette publication donne une description des formes courantes de bâtiments et grandes enceintes à usage industriel ,ainsi que de leur domaine d'application en Europe. Le dernier chapitre présente

les différences locales pouvant exister en fonction de la pratique, de la réglementation et des capacités des circuits de distribution.Les mêmes technologies peuvent être étendues à un large éventail de types de bâtiments, y compris les installations sportives et de loisirs, les halles, les supermarchés et autres enceintes



Figure 1.1 Bâtiment de loisirs faisant appel à une structure à portiques métalliques
Facteurs-clés pour la Conception

De nombreux facteurs conditionnent le dimensionnement des bâtiments industriels. Les informations suivantes sont d'ordre général et permettent d'identifier les facteurs-clés du dimensionnement ainsi qu'une liste des avantages offerts par la construction métallique.

Les bâtiments industriels sont en général conçus comme des enceintes offrant un espace fonctionnel pour des activités d'intérieur, qui peuvent comprendre l'utilisation de ponts roulants ou d'équipements suspendus ainsi que des aménagements de bureaux ou des planchers en mezzanine.

Au cours des 30 dernières années, diverses formes de structures ont été développées pour optimiser le coût de la structure métallique par rapport à l'espace offert. Par ailleurs, plus récemment, des formes exprimant la structure ont été utilisées dans des applications architecturales de bâtiments industriels, notamment des structures suspendues et tubulaires.

Une halle large et simple est la principale caractéristique de la plupart des bâtiments industriels. La construction et l'aspect d'un bâtiment industriel offrent à l'ingénieur-concepteur de nombreuses possibilités de configurations pour mettre en œuvre les idées architecturales tout en répondant aux exigences fonctionnelles. En général, un bâtiment industriel possède une surface de plancher rectangulaire extensible dans sa longueur. Le dimensionnement du bâtiment doit être en accord avec les exigences fonctionnelles et les économies d'énergie, y compris pour l'éclairage.

Les formes suivantes de bâtiments industriels constituent un aperçu des possibilités de solutions architecturales et constructives. Les halls d'exposition, les gares ferroviaires, les aéroports et les stades sportifs ont tendance à être des structures particulières. Les généralités qui suivent se limitent toutefois aux dispositions courantes.

2-1 Formes de bâtiments industriels

Le système le plus élémentaire utilisé pour un bâtiment industriel est composé de deux poteaux et d'une poutre. Cette configuration peut varier en utilisant divers types d'assemblages entre les

poutres et les poteaux ainsi que pour les pieds de poteaux. Les types de structures les plus couramment utilisés dans les bâtiments industriels sont des portiques articulés en pied, et des structures poteaux-poutres avec des pieds de poteaux encastres ou articulés. Les portiques offrent une stabilité dans le plan suffisante, et ne nécessitent l'utilisation de contreventements que pour la stabilité hors du plan.

La Figure 2.1 montre divers portiques possédant des pieds de poteaux encastres(a)ou articulés(b).

Des pieds de poteaux encastres peuvent être envisagés dans le cas d'utilisation de ponts roulants lourds, car les portiques fléchissent moins sous l'effet des forces horizontales. Les pieds de poteaux articulés possèdent des fondations de dimensions plus réduites et font appel à des assemblages plus simples. Dans les exemples (c) et (d), la structure est en partie située à l'extérieur du bâtiment, et les détails concernant les traversées de l'enveloppe du bâtiment doivent donc être soigneusement conçus vis-à-vis des déperditions thermiques possibles. Les détails complexes de ces types de structure servent également à des fins architecturales.

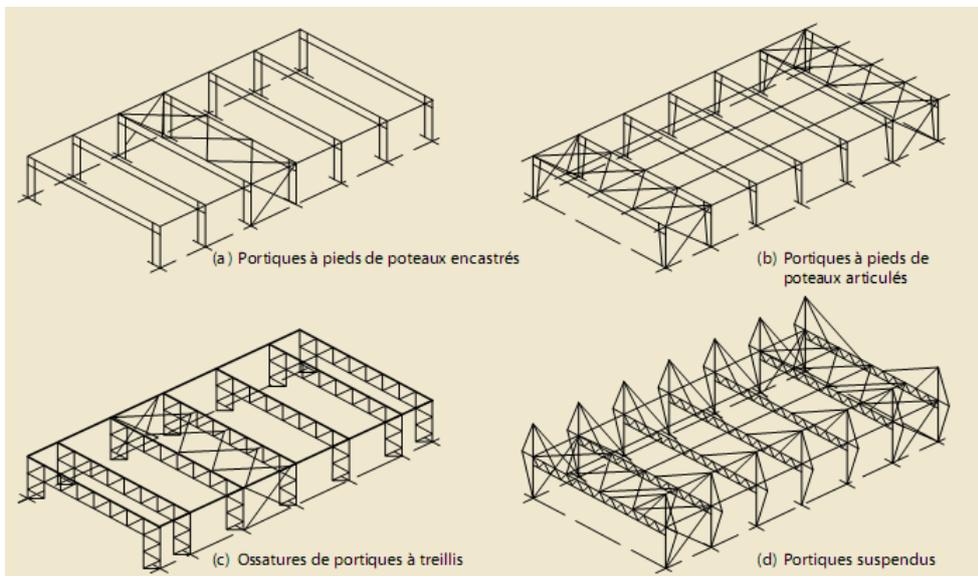


Figure 2.1 Exemples de structures à portiques

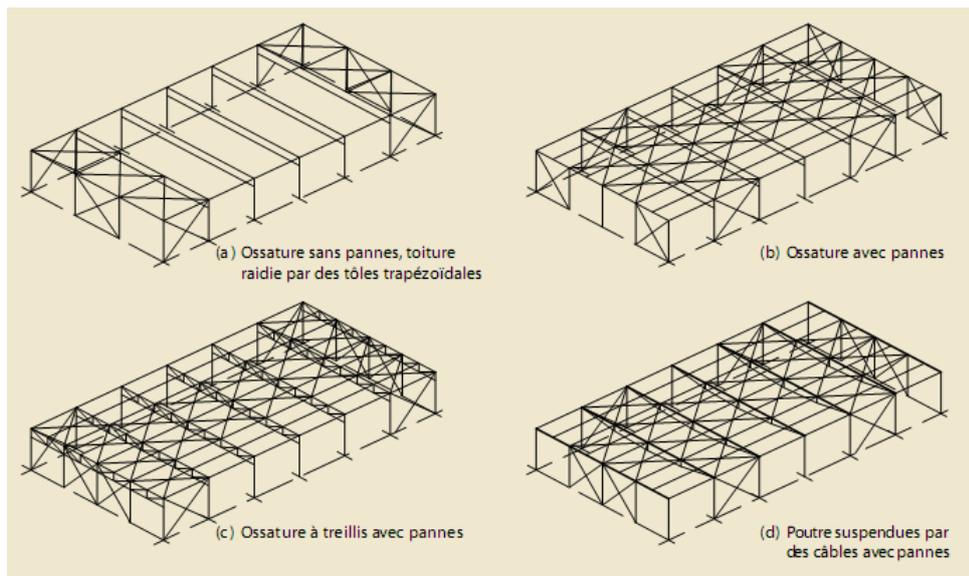


Figure 2.2 Exemples de structures poteaux-poutres

La Figure 2.2 montre différentes structures composées de traverses et de poteaux. La Figure 2.2 (a) montre un exemple de structure sans pannes, raidie par l'action de diaphragme de la toiture et des contreventements dans les murs. Dans la Figure 2.2 (b), on utilise des pannes, ce qui permet une conception simple de la couverture avec des travées réduites ne servant qu'à supporter les charges verticales. Le toit est raidi par des contreventements situés dans les plans situés dans les première et dernière travées. La structure dépourvue de pannes peut offrir un aspect plus agréable lorsqu'elle est vue de l'intérieur. Les Figures 2.2 (c) et (d) montrent des fermes à treillis et des traverses suspendues par des haubans, ce qui a l'avantage de permettre de plus grandes portées, et peut être également souhaitable pour des raisons d'esthétique.

Les structures en arc ont un comportement porteur plus avantageux ainsi qu'un aspect visuel agréable. La Figure 2.3 (a) montre un bâtiment possédant un arc à trois articulations. Une autre solution peut consister à surélever la structure sur des poteaux ou à l'intégrer dans une ferme, comme dans la Figure 2.3 (d).

2 1-1 portiques

Les portiques en acier sont largement utilisés dans la plupart des pays européens car ils associent efficacités structurale et adéquation fonctionnelle. Diverses configurations de portiques peuvent être conçues en utilisant le même concept structural, comme le montre la Figure 2.5. Il est également possible de concevoir des portiques à travées multiples, comme dans les Figure 2.5 (e) et (f), comportant des poteaux intérieurs uniques ou doublés.

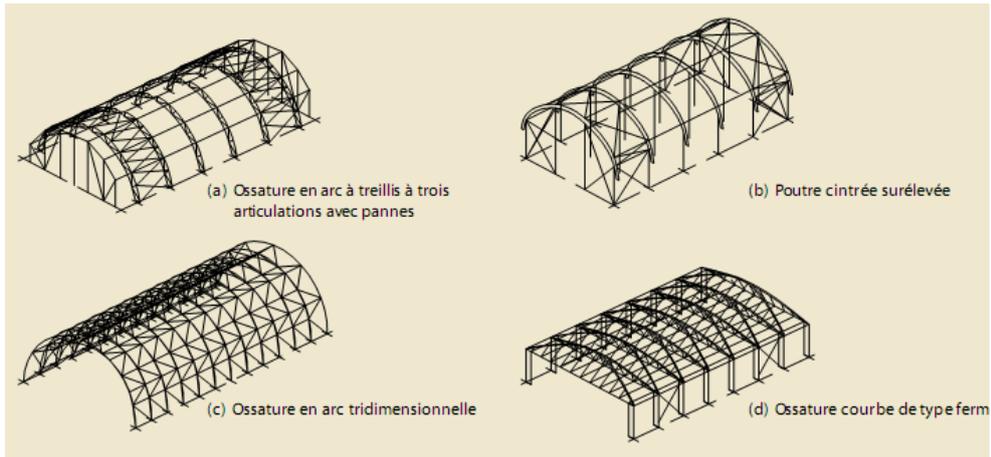


Figure 2.3 Exemples de structures cintrées ou à arcs

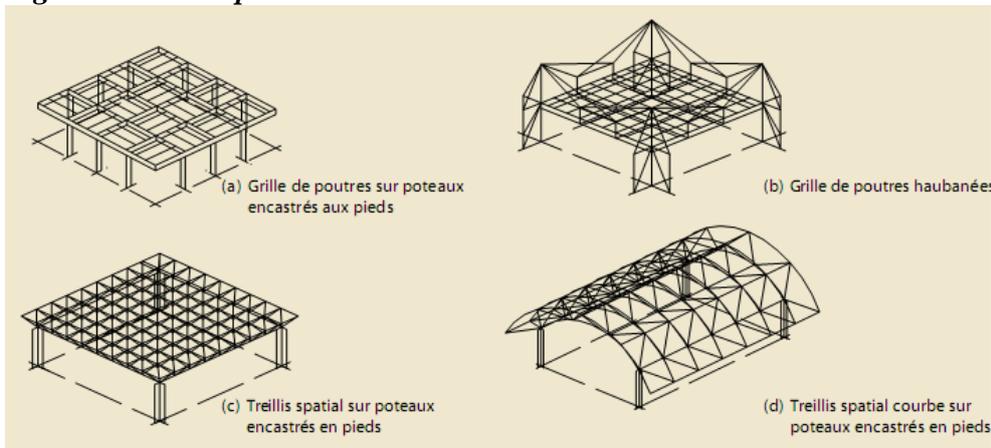
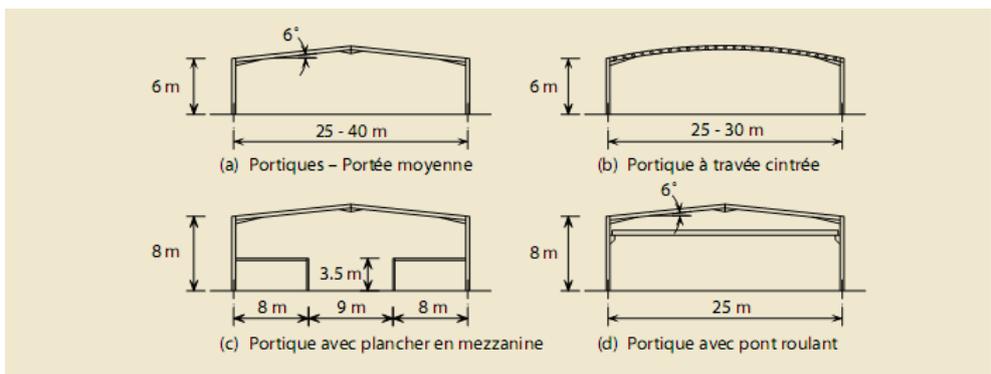


Figure 2.4 Exemples de structures spatiales



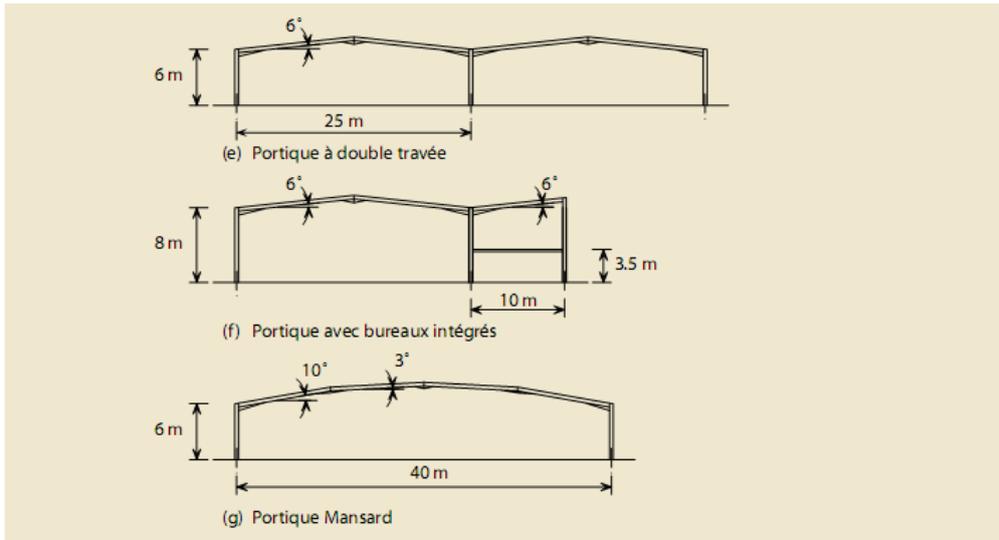


Figure 2.5 Différentes formes de portiques



Figure 2.6 Portique à travée unique liaisonné



Figure 2.7 Portique à double travée avec pannes et contreventement de toit Kingspan Ltd



Figure 2.8 Poutres cintrées utilisées dans une structure à portiques



Figure 2.9 Assemblages innovants résistant aux moments dans un bâtiment industriel



Figure 2.10 Processus d'installation d'un portique moderne Barrett Steel Buildings Ltd

Outre les structures principales en acier, une large gamme de composants secondaires a également été développée, comme les pannes en acier formées à froid. Ils participent également à la stabilité de l'ossature (voir Figures 2.6 et 2.7).

Ces types de systèmes structuraux simples peuvent aussi être conçus de sorte à offrir un aspect architectural plus attractif grâce à l'utilisation d'éléments cintrés, de poutres cellulaires ou ajourées etc., comme illustré dans la Figure 2.8.

Des systèmes structuraux innovants ont été développés dans lesquels des portiques sont réalisés avec des assemblages pouvant transmettre des moments de flexion par des tirants

complémentaires tout en étant articulés, comme le montre la Figure 2.9. L'installation de la structure principale et des éléments secondaires, comme les pannes, est effectuée en général au moyen de grues mobiles, comme montré dans la Figure 2.10.

2-1-2 Fermes à treillis

Les bâtiments industriels de grandes portées peuvent être dimensionnés au moyen de fermes à treillis utilisant des profilés en C, H ou des tubes. Les ferme à treillis sont plutôt des structures de type poteaux-poutres et sont rarement des portiques. La Figure 2.11 montre différentes configurations de fermes à treillis. Les deux formes génériques comportent des treillis en W ou en N.

Dans ce cas, la stabilité est en général assurée par un contreventement plutôt que par un comportement rigide de l'ossature. Cependant, des poteaux peuvent également être construits de façon similaire, comme illustré dans la Figure 2.13, afin d'assurer la stabilité dans le plan.

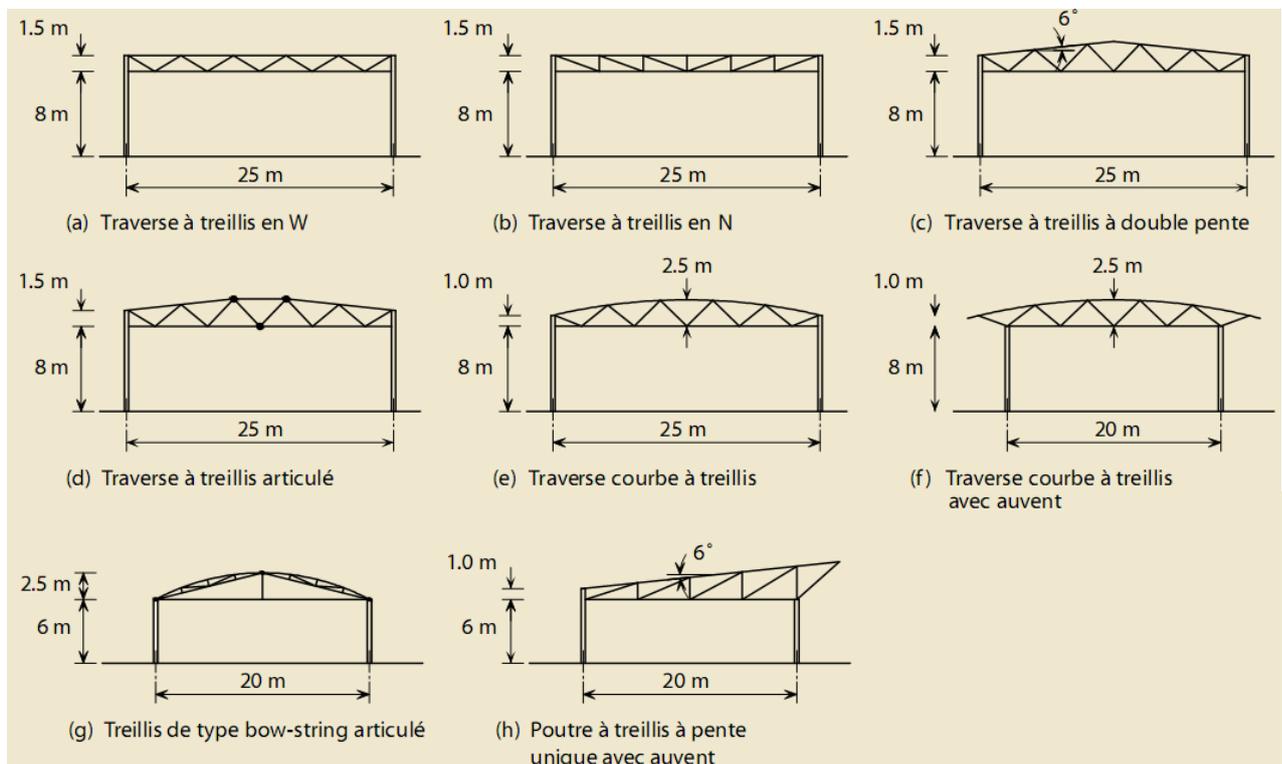


Figure 2.11 Différentes formes de fermes à treillis utilisées dans les bâtiments industriels



Figure 2.12 Ferme à treillis utilisant des éléments tubulaires



Figure 2.13 Ossature à treillis utilisant des poteaux à treillis

L'utilisation de structures à treillis permet d'obtenir une rigidité et une résistance aux charges relativement élevées tout en réduisant au minimum l'utilisation de matériaux. Outre leur aptitude à créer des travées de grande longueur, les structures à treillis sont esthétiques et simplifient l'intégration des équipements techniques.

Une structure articulée constitue une idéalisation utilisée dans le dimensionnement. Des liaisons

résistant aux moments peuvent être conçues au moyen d'assemblages boulonnés ou soudés. Les sollicitations additionnelles résultantes sont prises en compte dans le dimensionnement des éléments du treillis, lorsque la poutre à treillis agit pour stabiliser le bâtiment contre les charges latérales.

2-1-3 Structures suspendues

L'utilisation de structures suspendues permet de réaliser des bâtiments de grande portée, esthétiquement et architecturalement attrayantes.

La division en éléments soumis de façon prédominante soit à traction, soit à compression, permet de dimensionner les structures en réduisant leur poids. Toutefois, des structures réduisant les quantités de matériaux n'entraînent pas nécessairement des solutions économiques. Dans le cas de structures spatiales en particulier, les assemblages peuvent être très complexes et exiger plus de temps pour la construction et l'installation. Par conséquent, on trouve les applications éventuelles de ce type de structure dans des bâtiments industriels qui ont également des visées architecturales plutôt que dans des bâtiments purement fonctionnels.

Des structures suspendues peuvent être conçues en prolongeant les poteaux à l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment, comme illustré dans la Figure 2.14. Les structures suspendues permettent la réalisation de travées plus longues, mais les haubans ou les tirants de suspension traversent aussi l'enveloppe du bâtiment et peuvent encombrer l'espace extérieur.

Les structures suspendues et à treillis sont des structures complexes Elles ne sont pas traitées en détail dans le présent guide.

2-2 Sécurité incendie

Même si le contexte général des réglementations de sécurité incendie est le même dans toute l'Europe, il existe tout de même des spécificités nationales. Par exemple, un bâtiment industriel d'un seul niveau réalisé aux Pays-Bas avec des compartiments de 50 x 100 m n'est soumis à aucune exigence concernant la résistance au feu, alors qu'en France une résistance au feu de 30 minutes est exigée dans de nombreux cas, et qu'en Italie cette exigence peut aller jusqu'à 90 minutes. Au stade du dimensionnement, il convient d'étudier les questions suivantes en ce qui concerne la sécurité incendie :

- Evacuations (nombre de sorties de secours, caractéristiques des signalisations de sortie, nombre de cages d'escalier et largeur des portes).
- Propagation du feu (y compris résistance et réaction au feu).
- Système de ventilation et d'évacuation de la fumée et des gaz chauds.
- Mesures actives de lutte contre le feu (extincteurs à main, détecteurs de fumée, sprinklers, équipe de lutte contre l'incendie).
- Accès pompiers.

Il convient que les exigences relatives à la résistance au feu soient basées sur les paramètres qui agissent sur l'apparition et le développement d'un feu, notamment :

- Risque d'incendie (probabilité de l'apparition d'un feu, propagation du feu, durée de feu, potentiel calorifique, degré de gravité du feu, etc.).
- Conditions de ventilation (arrivée d'air frais, évacuation des fumées).
- Compartimentage (type, dimensions, géométrie).
- Type de système structural.
- Conditions d'évacuation.
- Sécurité des équipes de secours.
- Risques pour les bâtiments avoisinants.
- Mesures actives de lutte contre le feu.



Figure 2.14 Structure suspendue utilisée à l'Usine Renault, Swindon, R.-U., construite dans les années 1980 Architect : Richard Rogers Partnership

2-3 Physique du bâtiment

2-3-1 isolation thermique

L'objet principal de l'isolation thermique des bâtiments industriels est de garantir des conditions climatiques intérieures appropriées en fonction de l'utilisation du bâtiment. Pendant la période de chauffage, une des fonctions principales de l'enveloppe du bâtiment est de réduire les déperditions thermiques grâce à une isolation efficace. Ceci est particulièrement vrai pour les bâtiments dont la température intérieure est normale, comme les magasins de vente au détail, les halls d'exposition et les centres de loisirs, mais dans une moindre mesure pour les bâtiments dont la température intérieure peut être basse comme les ateliers et les entrepôts.

Pour les panneaux les ponts thermiques et l'étanchéité des joints ont une influence capitale sur le bilan énergétique du bâtiment. L'isolation thermique doit être placée de façon continue, sans pont thermique. L'enveloppe du bâtiment doit être calfeutrée et rendue étanche à l'air au niveau des joints longitudinaux et transversaux.

En été, le rôle de l'enveloppe du bâtiment est de limiter les effets de l'apport solaire dans l'espace intérieur.

Le confort thermique d'été dépend de la surface totale et de l'orientation des ouvertures, ainsi que de l'efficacité des mesures de protection solaire.

2-3-2 Risque de condensation

L'isolation thermique et la protection contre l'humidité sont étroitement liées. Les dégâts provoqués par une humidité locale élevée proviennent souvent de l'absence ou d'une mauvaise installation de l'isolation thermique. Par ailleurs, l'absence de protection contre l'humidité peut entraîner l'apparition de condensation dans l'isolant thermique ce qui affecte à son tour son efficacité. Dans les constructions comportant des murs ou un toit à peaux multiples, le risque de condensation doit être maîtrisé par l'installation d'un pare-vapeur sur la face intérieure de l'enveloppe. Les murs étanches à la vapeur sur leurs deux faces, tels que les panneaux-sandwich, empêchent la diffusion. Cependant, l'humidité présente dans l'espace intérieur doit également être régulée au moyen d'un système de conditionnement d'air. Le chapitre 4 traite des systèmes de couverture et de planchers.

2-3-3 Isolation acoustique

Dans tous les pays européens, il existe des exigences minimales concernant l'isolation acoustique des bâtiments. En outre, pour les bâtiments industriels, il peut s'avérer nécessaire de limiter la valeur des émissions sonores de certaines machines.

Dans les bâtiments à ossature métallique, l'isolation acoustique est principalement située dans l'enveloppe du bâtiment. Toutes les mesures concernant l'isolation acoustique sont basées sur les principes physiques suivants :

- Interruption de la transmission, par ex. par l'utilisation de systèmes multi-couches.
- Absorption sonore, par ex. par l'utilisation de cassettes ou tôles perforées.
- Diminution de la réponse par l'augmentation de la masse d'un composant.

Pour des sources sonores uniques, il est recommandé de confiner la source dans une enceinte localement isolée. Pour obtenir un niveau d'isolation acoustique élevé, l'utilisation d'un revêtement de mur et de toiture absorbant spécial est efficace. Pour les panneaux multi-couches le niveau d'isolation acoustique peut être ajusté en faisant varier la masse acoustique agissante. En raison de la complexité de cette question, il est recommandé de consulter les fabricants spécialisés.

2-4 Charges

Un bâtiment industriel d'un seul niveau construit avec une structure métallique doit normalement être dimensionné en prenant en compte les actions et les combinaisons d'actions décrites dans ce chapitre. Les surcharges, les charges de neige et les charges de vent sont données dans les Eurocodes EN 1991-1-1, 1991-1-3 et 1991-1-4. Le Tableau 2.1 indique les composants structuraux et les actions appropriés, et la Figure 2.15 montre un schéma de charges typique.

2-4-1 Charges verticales

2-4-1-1 Poids Propre

Dans la mesure du possible, il convient de vérifier les poids unitaires des matériaux au moyen des données des fournisseurs. Les chiffres donnés dans le Tableau 2.2 peuvent être considérés comme typiques des matériaux de couverture et peuvent être utilisés dans le redimensionnement d'une construction avec portiques. Le poids propre de l'ossature en acier est classiquement de 0,2 à 0,4 kN/m² de projection horizontale.

2-4-1-2 Charges des Équipements Techniques

Les charges dues aux équipements techniques sont en général très variables, en fonction de l'utilisation du bâtiment. Dans une structure à portiques, on peut avoir des charges ponctuelles élevées en raison d'équipements comme des passerelles suspendues, des chemins de roulement et ponts roulants, ou des unités de manutention. Les charges suivantes peuvent être utilisées pour le pré-dimensionnement:

- Une charge nominale sur la totalité de l'aire du toit de 0,1 à 0,25 kN/m² de projection horizontale en fonction de l'utilisation du bâtiment, et selon la présence ou non d'un système de sprinklers.

2-4-1-3 Surcharges sur les Toits

Les Eurocodes EN 1991-1-1 et 1-3 définissent les valeurs caractéristiques de divers types de surcharges agissant sur les toits :

- Une charge minimale de 0,6 kN/m² (horizontaux) est appliquée pour les couvertures dont la pente est inférieure à 30°, lorsqu'on ne prévoit aucun accès autre que pour le nettoyage et la maintenance.
- Une charge concentrée de 0,9 kN, uniquement pour le dimensionnement des tôles profilées.
- Une charge uniformément répartie due à la neige sur la totalité de la surface du toit. La valeur de cette charge dépend de la situation géographique du bâtiment et de son altitude par rapport au niveau de la mer. En cas d'utilisation de portiques à travées multiples avec des toits en pente, l'apparition de charges de neige concentrées au niveau des noues doit être étudiée.
- Une charge non uniforme due à l'accumulation de neige sur le toit. Le vent soufflant sur le faîtage du bâtiment, il dépose plus de neige du côté situé sous le vent. Ceci n'est prendre en compte que pour les pentes supérieures à 15° et ne s'applique donc pas à la plupart des bâtiments industriels.

2-4-2 Charges horizontales

2-4-2-1 Charges de Vent

Les actions dues au vent sont données par l'Eurocode EN 1991-1-4. Les charges de vent déterminent rarement la dimension des éléments de portiques bas à travée unique dont le rapport hauteur / travée est inférieur à 1/4. Par conséquent, les charges de vent peuvent en général être négligées pour le calcul préliminaire de portiques, à moins que le rapport hauteur-travée soit élevé, ou si la pression dynamique est forte. La combinaison de charges de vent et de neige est souvent critique dans ce cas.

Cependant, dans les portiques à deux travées et autres portiques à travées multiples, il arrive souvent que la combinaison de charges verticales et de vent déterminent l'importance des charges de vent peut déterminer le type de vérification à effectuer. S'il se produit des flèches horizontales importantes au niveau des têtes de poteaux en combinaison avec des efforts normaux élevés, les effets du second ordre doivent alors être pris en compte dans la procédure de vérification.

Les forces de soulèvement exercées par le vent sur le revêtement peuvent être relativement élevées au niveau des angles, des rives de toit et du faîtage du bâtiment. Dans ces régions, il peut s'avérer nécessaire de réduire l'espacement de pannes et des lisses.

2-4-2-2 Imperfections

Il convient de prendre en compte des efforts horizontaux équivalents dus aux imperfections géométriques et structurales selon l'Eurocode EN 1993-1-1, pour les ossatures sensibles au flambement en mode à nœuds déplaçables. L'effet des imperfections doit normalement être pris

en compte dans l'analyse structurelle au moyen d'une imperfection équivalente sous forme de :

- flèches latérales initiales ; et/ou
- imperfections en arc des éléments pris individuellement.

2-4-2-3 Autres charges horizontales

En fonction du projet, il se peut que d'autres charges horizontales supplémentaires doivent être prises en compte, comme la pression des terres, les forces provoquées par le fonctionnement d'engins de levage, les actions accidentelles et les actions sismiques.

2-5 Considération relatives à la conception

2-5-1 Généralités

Avant d'effectuer le dimensionnement détaillé d'un bâtiment industriel, il est essentiel de prendre en compte de nombreux aspects, et notamment :

- L'optimisation de l'espace.
- Les délais de construction.
- L'accès et la sécurité.
- La flexibilité d'utilisation.
- La performance environnementale.
- La normalisation des composants.
- La chaîne des approvisionnements.
- L'intégration des équipements techniques.
- Le site environnant.
- L'esthétique et l'impact visuel.
- La performance thermique et l'étanchéité à l'air.
- L'isolation acoustique.
- L'étanchéité relative aux intempéries.
- La sécurité incendie.
- La conception à long terme.
- Les aspects du développement durable.
- La fin de vie et le recyclage.

Questions relatives à la conception et au dimensionnement																
Type de bâtiment industriel à un seul niveau	Optimisation de l'espace	Délais de construction	Accès et Sécurité	Flexibilité d'utilisation et d'espace	Performance environnementale	Normalisation des composants	Infrastructure spéciale	Respect du développement durable	Fin de vie et recyclage	Intégration des équipements techniques	Intégration au paysage	Esthétique et impact visuel	Performance thermique et étanchéité	Isolation acoustique	Étanchéité aux intempéries	Exploitation et maintenance
Entrepôts à travées de grande portée	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓		✓✓	✓
Installations de fabrication industrielle	✓✓	✓	✓	✓✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓✓	✓	✓
Centres de distribution	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Supermarchés de détail	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓
Stockage / Stockage frigorifique	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓		✓	✓✓	✓		✓	✓✓		✓	✓
Installations de fabrication à petite échelle	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Bureaux et fabrication légère	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓		✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Usines de traitement	✓	✓	✓✓		✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓			✓	✓✓	✓	✓
Centres de loisirs	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
Complexes et salles de sports	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓✓
Halls d'exposition	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Hangars aériens ou de maintenance	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Légende Non coché = Peu important ✓ = important ✓✓ = très important

Table 2.3 Facteurs de dimensionnement important pour les bâtiments industriels

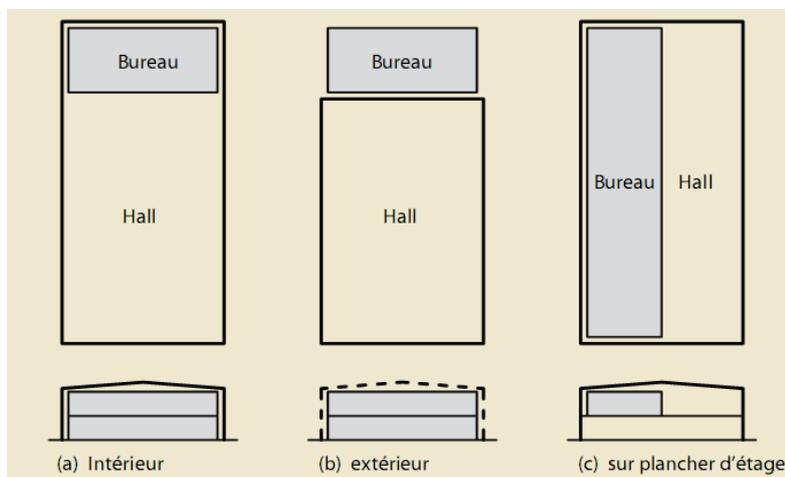


Figure 2.16 Possibilités d'emplacement d'un bureau associé à un bâtiment industriel

L'importance de chacun de ces points dépend du type de bâtiment. Par exemple, les exigences formulées pour un centre de distribution seront différentes de celles formulées pour une unité de fabrication.

Afin d'élaborer un dimensionnement conceptuel efficace, il est nécessaire d'étudier ces points en fonction de leur importance, selon le type de bâtiment. Le Tableau 2.3 contient une matrice donnant l'importance de chaque point en fonction de divers types de bâtiments à usage industriel. Noter que cette matrice n'est qu'indicative, étant donné que chaque projet est différent. Elle peut cependant servir d'aide générale.

2-5-2 Compartimentage et usage mixte

De plus en plus, les grands bâtiments industriels sont conçus pour un usage mixte, c'est-à-dire, dans la plupart des cas, qu'ils comprennent des espaces de bureaux et/ou des locaux pour les employés. Il existe différentes possibilités d'emplacements pour ces espaces et usages supplémentaires, comme indiqué dans la Figure 2.16 :

- Pour des bâtiments industriels à un seul niveau, création d'un espace distinct à l'intérieur du bâtiment, éventuellement sur deux étages, séparé par des murs intérieurs.
- Dans un bâtiment extérieur, relié directement au hall lui-même.
- Pour des bâtiments industriels à deux niveaux, occupation partielle de l'étage supérieur.

Ceci entraîne des exigences particulières de dimensionnement et de conception pour l'ossature porteuse et des performances en termes de physique du bâtiment. Si la zone de bureaux est située à l'étage supérieur du bâtiment industriel, elle peut être conçue comme une structure distincte comprise dans la structure du bâtiment. Dans ce cas, les planchers de bâtiments commerciaux peuvent être utilisés, souvent basés sur des éléments mixtes acier/béton, par exemple des poutres intégrées. Une autre possibilité consiste à intégrer les bureaux à la structure principale. Ceci exige une attention particulière quant à la stabilisation des parties liaisonnées du bâtiment.

Outre les questions touchant à la structure, une attention particulière doit être accordée aux points suivants :

2-5-2-1 Protection Incendie

Le compartimentage en incendie peut jouer un rôle important dans la conception des bâtiments industriels de grandes dimensions, même s'ils ne comportent pas d'espace intérieur de bureaux. Pour empêcher la propagation du feu, la dimension des compartiments est limitée à une certaine valeur. Par conséquent, des murs de séparation coupe-feu doivent être prévus, et ceux-ci doivent normalement assurer une résistance au feu d'au moins 60 minutes et souvent de 90 minutes. Cette disposition est encore plus vitale si des produits dangereux sont stockés dans le bâtiment.

Etant donné que les bureaux sont conçus pour être utilisés par un grand nombre de personnes, les exigences relatives à la sécurité incendie sont plus strictes. Si les bureaux sont situés au dernier étage du bâtiment, des voies d'évacuation supplémentaires sont exigés et il convient

de prendre en compte des mesures actives de lutte contre l'incendie. Toute propagation du feu d'un compartiment à l'autre doit être empêchée, ce qui peut se faire, par exemple, en utilisant une dalle mixte entre les bureaux et l'espace industriel.

2-5-2-2 Isolation Thermique

Comme pour la sécurité incendie, les bureaux sont également l'objet d'exigences plus strictes pour l'isolation thermique. Dans les bâtiments industriels utilisés pour le stockage de produits non sensibles, une isolation thermique peut ne pas être exigée. Dans les bureaux, cependant, un niveau de confort élevé est nécessaire, ce qui rend indispensable une isolation thermique. Les interfaces entre les compartiments froids et les compartiments chauds doivent donc être conçues de sorte à assurer une isolation appropriée.

2-5-2-3 Performance Acoustique

Particulièrement dans les bâtiments industriels où les processus de production sont bruyants, une séparation stricte entre l'unité de production et les zones de bureaux doit être réalisée. Cette séparation peut exiger la prise de mesures particulières pour l'isolation acoustique, en fonction des processus de production concernés.

2-6 Dalles

Dans la plupart des cas, les dalles des bâtiments industriels sont prévues pour des véhicules ou des machines lourdes. Elles sont dimensionnées en conséquence pour rester planes. Les charges concentrées dues aux véhicules, aux machines, aux rayonnages et aux conteneurs doivent être prises en compte.

La plupart des bâtiments industriels possèdent une dalle en béton d'une épaisseur minimale de 150 mm, posé sur une couche de sable ou de gravier d'une épaisseur minimale de 150 mm également. Pour les surfaces de dalles étendues, il est nécessaire de prévoir une couche de glissement entre la couche de base et le béton, réalisée en général au moyen de deux épaisseurs de matériau synthétique.

2-7 Intégration des équipements techniques

Pour les bâtiments industriels, des exigences spécifiques relatives aux équipements techniques sont souvent fixées, car nécessaires au fonctionnement de machines et de chaînes de production.

Il convient de prendre en compte l'intégration de ces équipements techniques dès les premières étapes de l'établissement du projet. En particulier, la position et la dimension des conduites doivent normalement faire l'objet d'une coordination avec le schéma structurel et les dispositions prises pour l'éclairage naturel.

L'utilisation de systèmes structuraux comme les treillis et les poutres cellulaires peut faciliter l'intégration des équipements techniques et concourir à obtenir un aspect cohérent du bâtiment.

Le dimensionnement des locaux et des installations techniques peut revêtir une importance capitale dans les bâtiments industriels. La centralisation des équipements techniques du bâtiment peut offrir l'avantage d'une maintenance facilitée. La Figure 2.17 montre différentes solutions possibles pour le positionnement des locaux techniques.

Une ventilation naturelle réduit la dépendance par rapport aux systèmes de conditionnement d'air. Cela entraîne une réduction des émissions de CO₂ du bâtiment. L'efficacité de la ventilation naturelle dépend de la dimension et de l'orientation du bâtiment. L'installation d'évents en toiture constitue une option courante pour la ventilation naturelle de bâtiments dépourvus d'ouvertures suffisamment grandes. Ils doivent être soigneusement positionnés pour une efficacité maximale. Aujourd'hui, les systèmes de ventilation dans les bâtiments industriels reposent à la fois sur un dispositif de ventilation naturelle et des ventilateurs mécaniques afin de garantir la performance pour toutes les configurations météorologiques.

Des systèmes de ventilation mécanique double flux utilisent la chaleur de l'air vicié extrait pour réchauffer l'air neuf, plus froid, insufflé dans le bâtiment. L'air chaud est évacué du bâtiment dans une conduite parallèle à l'admission d'air frais, ce qui permet un transfert thermique entre l'air extrait et l'air neuf. Bien que ce transfert thermique ne soit jamais efficace à 100%, l'utilisation de tels systèmes réduit de façon significative la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir la température à un niveau confortable.

D'autres points peuvent nécessiter d'être pris en compte en ce qui concerne les équipements techniques :

- Les influences possibles des éléments de protection solaire sur le renouvellement de l'air.
- L'extraction des odeurs.
- Le contrôle de l'humidité.
- Le contrôle de l'étanchéité.
- L'isolation acoustique.

2-8 Eclairage

Les exigences relatives à l'éclairage des bâtiments industriels dépendent du type d'utilisation.

La conception et la disposition des ouvertures destinées à assurer un éclairage naturel permettent une diversité architecturale. L'utilisation de verrières et de pignons vitrés est courante, ainsi que celle de bandeaux lumineux en façade (Figure 2.18). Les ouvertures destinées à l'éclairage naturel peuvent servir pour l'évacuation des fumées et des gaz chauds en cas d'incendie.

Un éclairage naturel bien conçu peut avoir un impact significatif sur les émissions de carbone du bâtiment. Cependant, trop d'éclairage naturel peut entraîner un apport solaire trop important en été, et donc à un échauffement excessif, et si l'enveloppe vient à se détériorer, à contrario cela conduit à une augmentation des déperditions calorifiques au travers de l'enveloppe en hiver.

La décision d'exploiter la lumière naturelle dans un bâtiment, ainsi que le choix du type d'éclairage naturel ont des conséquences importantes sur la conception globale de l'ouvrage.

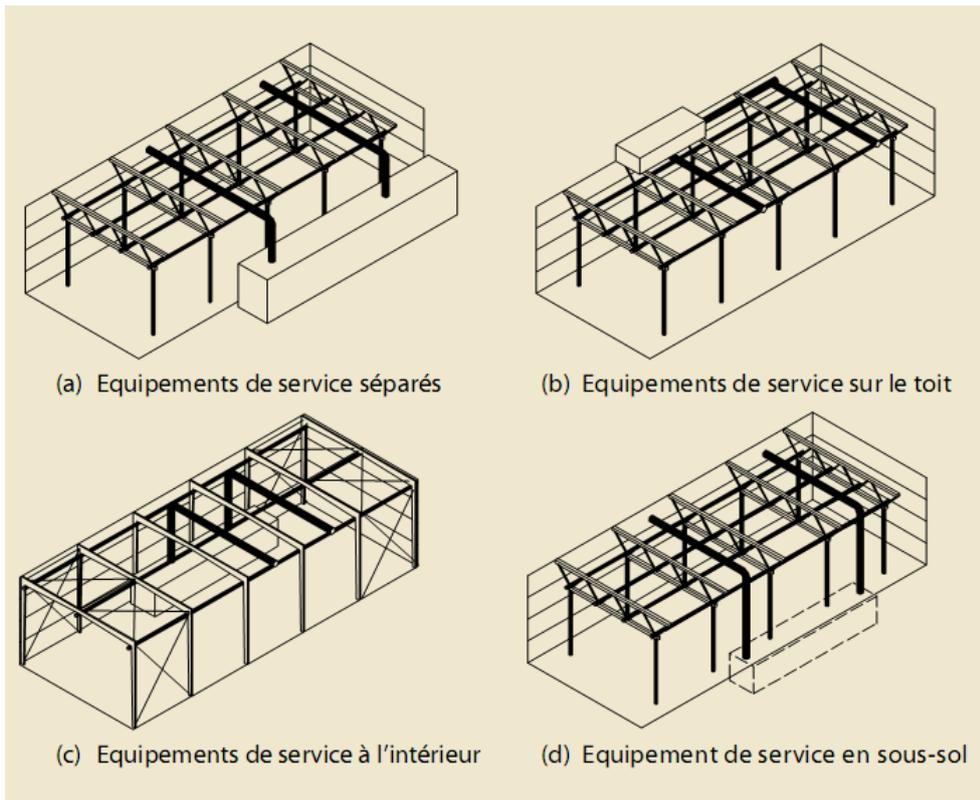


Figure 2.17 Possibilités de dispositions des locaux techniques et des chemins de canalisations techniques

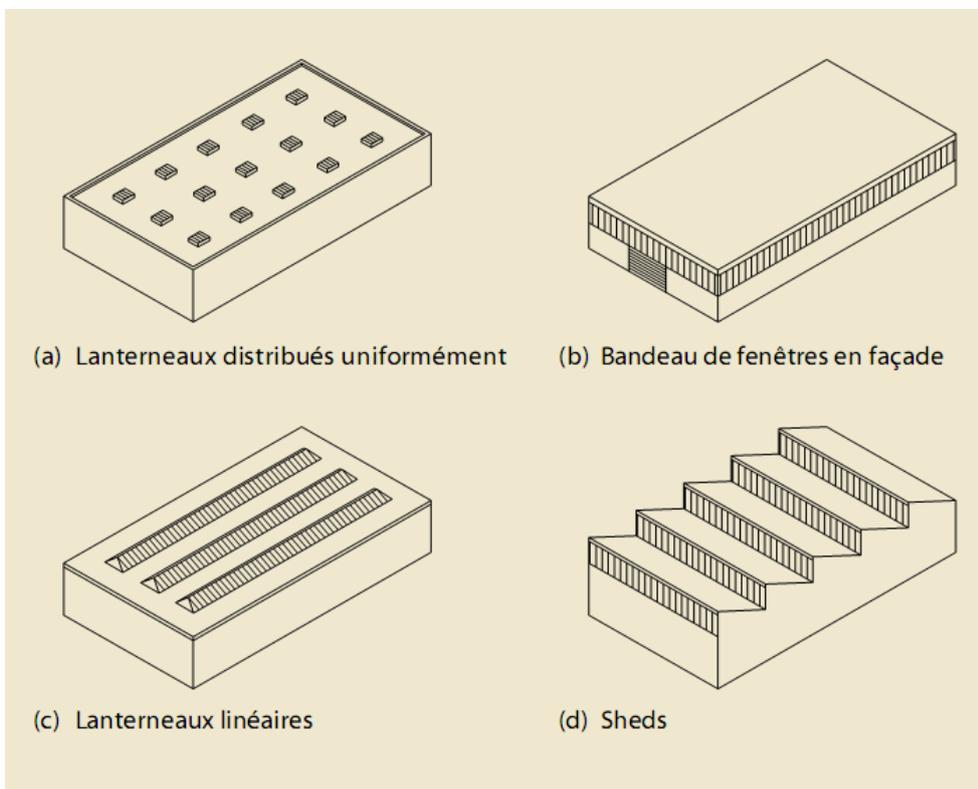


Figure 2.18 Exemples de méthodes utilisées pour assurer un éclairage naturel dans les bâtiments industriels

3 Structures Porteuses

Ce chapitre décrit les systèmes couramment utilisés pour les structures porteuses principales des bâtiments industriels. Il décrit les caractéristiques des portiques et des structures poteaux-poutres, et donne des informations sur les assemblages et les composants secondaires.

3-1 Portiques

Les bâtiments à portiques sont en général des structures de faible hauteur, comprenant des poteaux et des traverses horizontales ou inclinées, liés par des assemblages résistant aux moments.

Les portiques à pieds de poteaux articulés sont en général préférés car ils permettent des fondations de dimensions plus réduites comparées à des pieds encastrés. En outre, les pieds de poteaux encastrés rigides demandent de réaliser un assemblage plus coûteux et sont donc surtout utilisés si le portique doit supporter des forces horizontales élevées. Toutefois, les poteaux articulés ont l'inconvénient d'exiger des quantités d'acier légèrement supérieures en raison de la moindre rigidité de l'ossature vis-à-vis des forces verticales et horizontales.

Les portiques rigides sont stables dans leurs propres plans, et ils permettent d'obtenir des travées dégagées, c'est-à-dire sans contreventements. La stabilité est obtenue par la continuité au niveau des assemblages. Ils sont en général réalisés avec des jarrets disposés au niveau des assemblages poteaux-poutres de rives.

Dans la plupart des cas, la stabilité hors du plan doit être assurée par des éléments additionnels, comme des pannes ou des entretoises tubulaires (Figure 3.1). Si l'on utilise des tôles profilées, le toit peut être raidi de par l'action de diaphragme de l'enveloppe (effet de peau), sans que l'on ait besoin d'un autre contreventement. En pratique, en France, ces systèmes sont rarement utilisés pour des raisons de responsabilités relatives à la résistance structurelle du bâtiment. L'utilisation de poteaux à extrémités encastrées, de noyaux et de murs en cisaillement peut également assurer un encastrement hors du plan du portique.

Un certain nombre de types de structures peuvent être considérés plus ou moins comme des portiques. Les informations qui sont fournies quant aux travées, aux pentes de toits, etc. sont typiques des formes de construction présentées dans ce document.

Les profilés en acier utilisés dans les portiques d'une portée de 12 m à 30 m sont en général des profilés laminés à chaud en aciers de nuance S235, S275 ou même S355. L'utilisation d'acier à haute résistance est rarement économique dans les structures où les critères d'aptitude au service (c'est-à-dire de flèche) ou de stabilité déterminent le dimensionnement.

Les portiques dimensionnés au moyen d'une analyse globale plastique sont plus économiques, bien qu'une analyse globale élastique soit privilégiée dans certains pays. Lorsqu'une analyse plastique est utilisée, les dimensions des sections doivent être adéquates pour permettre le développement de la résistance plastique à la flexion (formation de rotules plastiques).

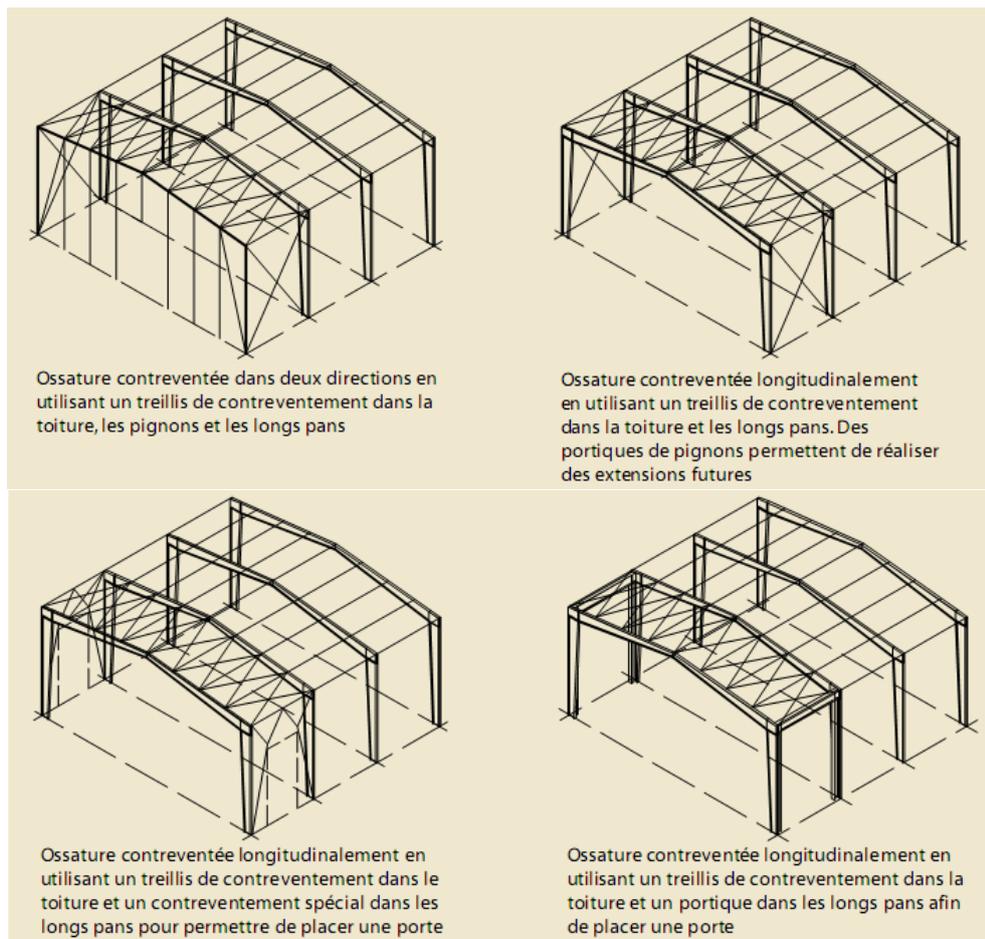


Figure 3.1 Exemples de contreventement hors du plan d'un portique

3-2 Types de portiques en acier

3-2-1 Portique avec toit à double pente

L'une des structures les plus couramment utilisées pour les bâtiments industriels est le portique symétrique à travée unique, illustré dans la Figure 3.2. Les caractéristiques suivantes sont les plus économiques et peuvent donc servir de base dans les premières étapes du dimensionnement:

- Portée de 15 m à 50 m (une portée de 25 à 35 m est la plus efficace).
- Hauteurs de rives de 5 à 10 m (une hauteur de 5 à 6 m est la plus efficace).
- Pente de toit de 5° à 10° (un angle de 6° est couramment adopté).
- Espacement des portiques de 5 m à 8 m (les espacements les plus grands étant associés aux portiques de plus longues portées).
- Présence de jarrets dans les traverses au niveau des rives et, si nécessaire, au faîtage.

Le Tableau 3.1 peut servir d'aide pour le pré-dimensionnement des portiques à travée unique. L'utilisation de jarrets au niveau des rives et du faîtage réduit la hauteur nécessaire de la traverse tout en permettant de transmettre les moments en ces endroits. Le jarret est souvent découpé dans un profilé de mêmes dimensions que la traverse.

3-2-2 Portique avec plancher en mezzanine

Des bureaux sont souvent installés sur les structures de portiques au moyen d'un plancher en mezzanine (voir Figure 3.3), dont la largeur peut être partielle ou totale.

Ce plancher peut servir de contreventement à la structure et être dimensionner en conséquence. Il arrive souvent que le plancher interne exige également une protection contre le feu.

Charge de neige [kN/m ²]	Portée [m]	Hauteur de rives [m]	Pente de toit [°]	Travées [m]	Profilé en acier nécessaire pour :	
					Poteau	Traverse
0.75	30.0	6.0	6.0	5.0	IPE 600	IPE 550
	25.0	6.0	6.0	5.0	IPE 500	IPE 500
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 450	IPE 450
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 360	IPE 360
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 300	IPE 300
1.20	30.0	6.0	6.0	5.0	HEA 500	HEA 500
	25.0	6.0	6.0	5.0	IPE 600	IPE 550
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 500	IPE 500
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 450	IPE 450
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 360	IPE 360
2.00	30.0	6.0	6.0	5.0	HEA 650	HEA 650
	25.0	6.0	6.0	5.0	HEA 550	HEA 550
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 600	HEA 600
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 500	IPE 500
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 400	IPE 400

Table 3.1 Table de pré-dimensionnement pour les portiques

3-2-3 Portique avec mezzanine extérieure

Les bureaux peuvent être situés en dehors du portique, créant ainsi une structure de portique asymétrique, comme illustré dans la Figure 3.4. Le principal avantage de cette ossature est que des jarrets ou des poteaux de grandes dimensions ne forment pas d'obstacles à l'espace de bureaux. En général, cette structure additionnelle est stabilisée par le portique.

3-2-4 Portique avec pont roulant et corbeaux

Les ponts roulants, si leur présence est nécessaire, exercent une influence importante sur le calcul et les dimensions des portiques. Ils provoquent des charges verticales supplémentaires ainsi que des forces horizontales considérables, ce qui a un effet sur la dimension de la section des poteaux, en particulier. Lorsque le pont roulant est de capacité relativement faible (jusqu'à 20 tonnes environ), des corbeaux peuvent être fixés sur les poteaux pour supporter le pont roulant (voir Figure 3.5). L'utilisation d'un tirant positionné au niveau des jarrets sur la largeur du bâtiment ou entre les pieds des poteaux peut s'avérer nécessaire pour réduire les déplacements horizontaux aux niveaux des rives. Les déplacements horizontaux au niveau des chemins de roulement peuvent revêtir une importance capitale pour le fonctionnement du pont roulant.

Pour les ponts roulants lourds, il convient d'appuyer les chemins de roulement sur des poteaux supplémentaires, qui peuvent être liés aux poteaux du portique au moyen de contreventements afin d'en assurer la stabilité.

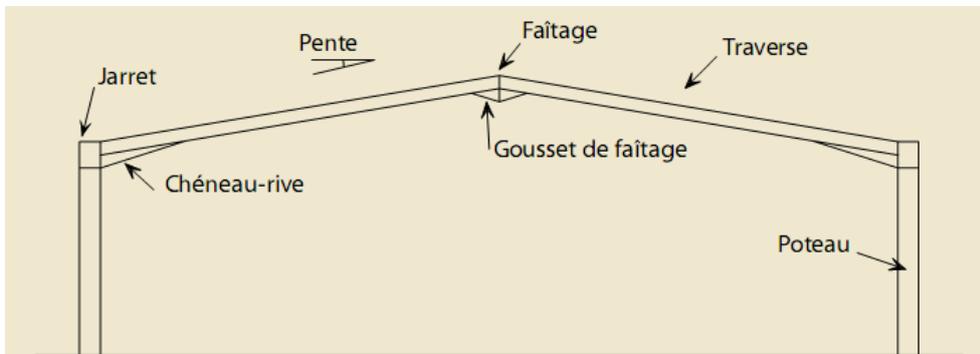


Figure 3.2 Portique symétrique à portée unique

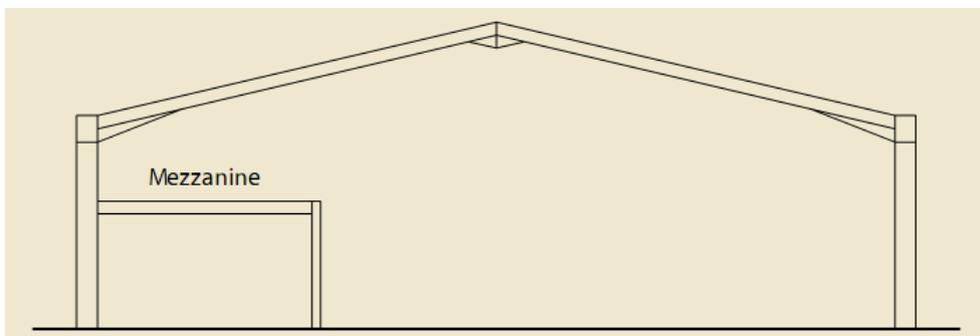


Figure 3.3 Portique avec un plancher en mezzanine intérieur

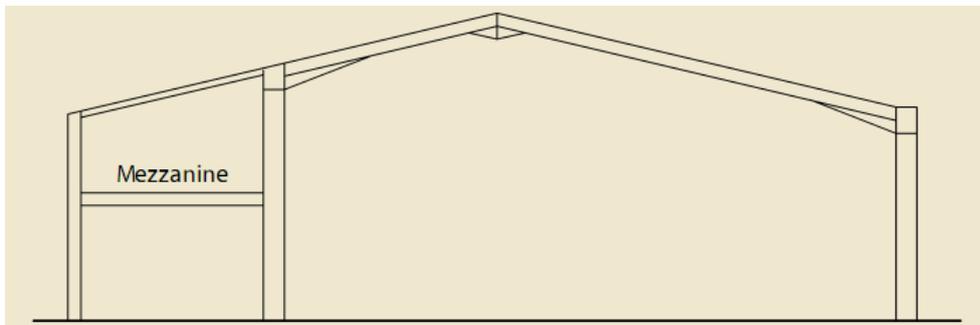


Figure 3.4 Portique avec un plancher en mezzanine extérieur

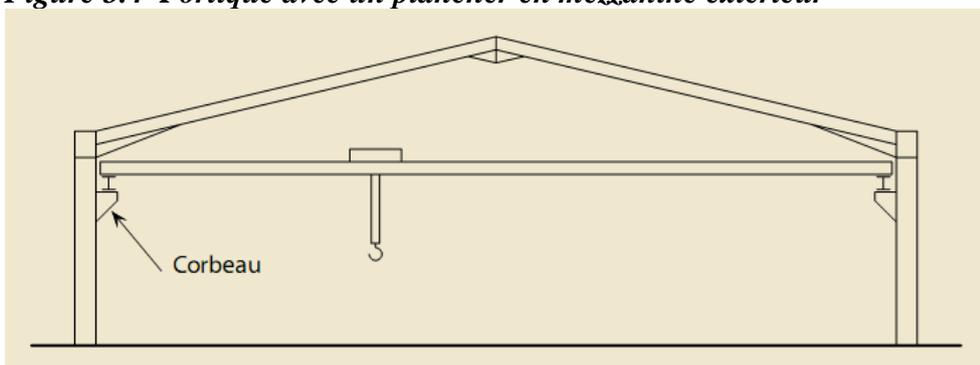


Figure 3.5 *Portique avec un corbeau sur les poteaux*

3-2-5 Portique étagé

Lorsque la portée d'un portique est supérieure à 30 m, et qu'il n'est pas nécessaire d'obtenir une portée libre, le recours à un portique étagé (voir Figure 3.6) peut réduire la dimension de la traverse ainsi que les forces horizontales exercées au niveau des pieds des poteaux, permettant ainsi des économies à la fois sur les quantités d'acier et sur les fondations.

Ce type de portique est parfois appelé "portique étagé à travée unique", mais il agit de fait comme un portique à deux travées.

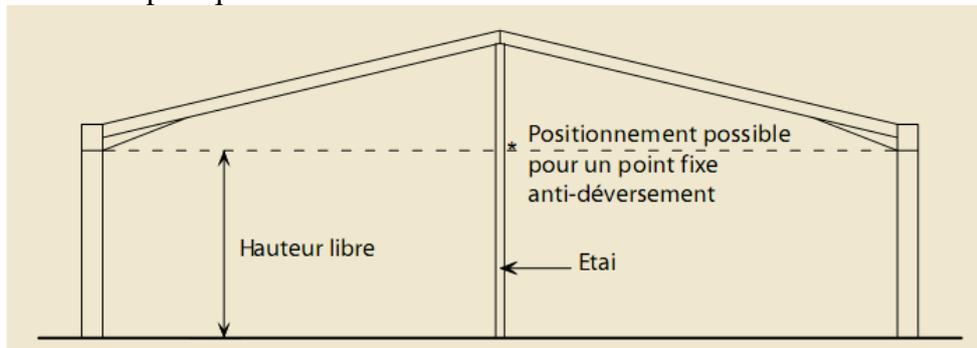


Figure 3.6 *Portique étagé*

3-2-6 Portique à tirants

Avec un portique à tirants (voir Figure 3.7), on obtient une réduction des mouvements horizontaux sur les rives ainsi que des moments agissant dans les poteaux, au prix d'une réduction de la hauteur libre. Pour les pentes de toit inférieures à 15° , des forces importantes se développent dans les traverses et dans le tirant.

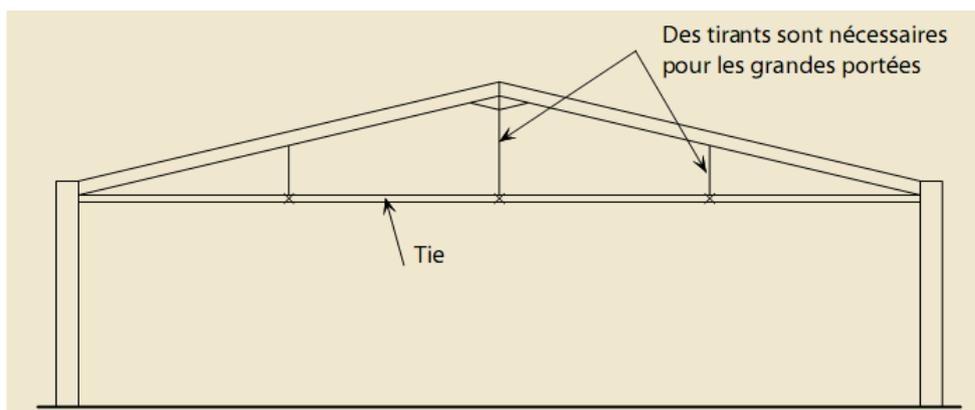


Figure 3.7 *Portique à tirants*

3-2-7 Portique Mansard

Un portique Mansard est composé d'une série d'éléments de traverses et de jarrets (comme illustré dans la Figure 3.8). Il peut être utilisé lorsqu'une grande travée libre est nécessaire, mais la hauteur des rives du bâtiment doit être réduite. Un portique Mansard avec tirants peut constituer une solution économique lorsqu'il est nécessaire de réduire les déplacements horizontaux des rives.

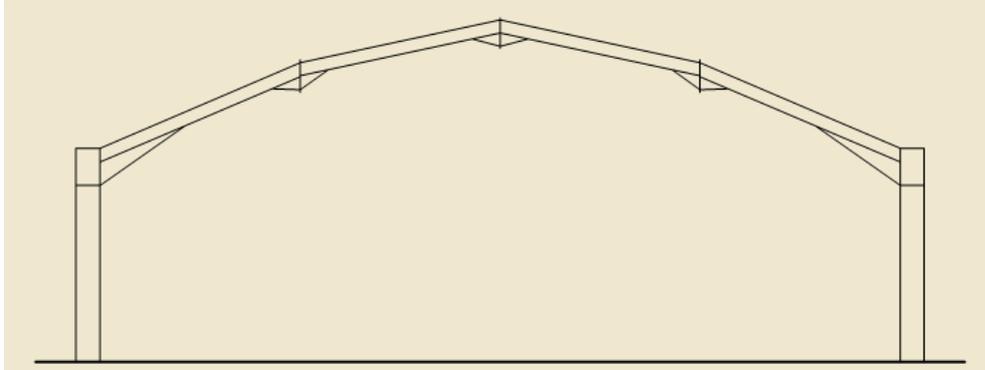


Figure 3.8 Portique Mansard

3-2-8 Portique à traverse cintrée

Les portiques à traverses cintrées (voir Figure 3.9 et Figure 2.8) sont souvent utilisés pour des raisons architecturales. La traverse peut être cintrée selon un rayon résultant du cintrage à froid. Pour les portées supérieures à 16 m, il peut être nécessaire de prévoir des assemblages en continuité dans la traverse en raison des limitations de transport. Pour des raisons architecturales, ces assemblages de continuité peuvent être dimensionnés de sorte à être peu visible.

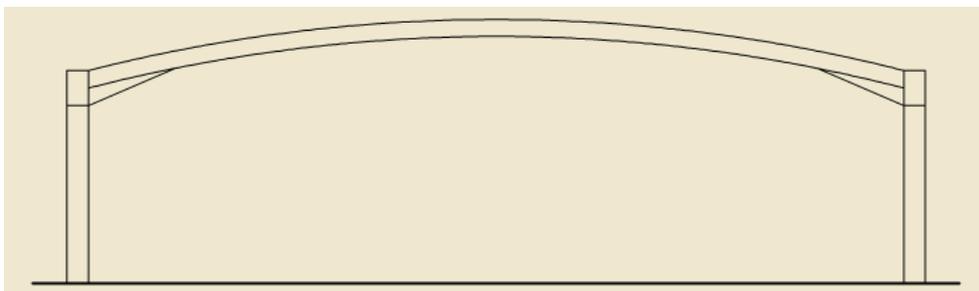


Figure 3.9 Portique avec traverse cintrée

Une autre solution, lorsque le toit doit être cintré mais lorsqu'il n'est pas nécessaire que le portique le soit, consiste à fabriquer la traverse sous forme d'une série d'éléments rectilignes.

3-2-9 Portique à poutre cellulaire

Les poutres cellulaires sont couramment utilisées pour les portiques dont les traverses sont cintrées (voir Figure 3.10 et Figure 2.9). Lorsque des assemblages de continuité de la traverse sont nécessaires pour le transport, ces assemblages doivent normalement être conçus de sorte à préserver les caractéristiques architecturales de cette forme de construction.

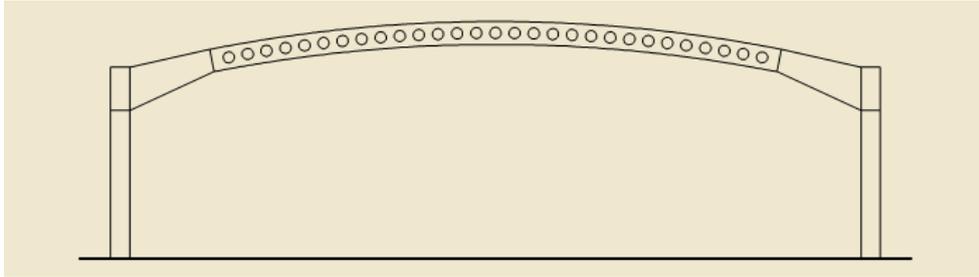


Figure 3.10 Poutre cellulaire utilisée dans un portique

3-2-10 Portiques de pignon

Les portiques de façades de pignon sont situés aux extrémités du bâtiment et peuvent consister en poteaux et traverses simplement appuyés, plutôt que d’êtres des portiques complets (voir Figure 3.11). Si le bâtiment est destiné à être agrandi ultérieurement, il convient de prévoir un portique identique aux portiques intérieurs.

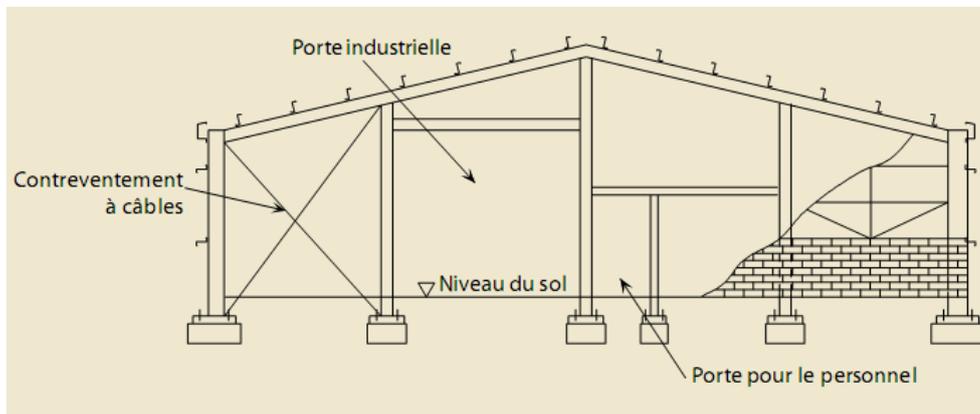


Figure 3.11 Pignons d’extrémité dans une structure à portiques

Dans les cas où la stabilité du pignon n’est pas assurée par un portique, il est nécessaire d’utiliser des contreventements ou des panneaux rigides, comme indiqué à la Figure 3.11.

Charge de neige [kN/m ²]	Portée [m]	Hauteur de rives [m]	Pente de toit [°]	Travées [m]	Profilé en acier nécessaire pour :	
					Poteau	Poutre
0.75	30.0	6.0	6.0	5.0	IPE 270	HEA 550
	25.0	6.0	6.0	5.0	IPE 270	IPE 600
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 240	IPE 500
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 200	IPE 360
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 160	IPE 300
1.20	30.0	6.0	6.0	5.0	IPE 300	HEA 700
	25.0	6.0	6.0	5.0	IPE 300	HEA 550
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 270	IPE 550
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 220	IPE 450
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 180	IPE 360
2.00	30.0	6.0	6.0	5.0	IPE 330	HEA 900
	25.0	6.0	6.0	5.0	IPE 300	HEA 700
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 300	HEA 500
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 240	IPE 500
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 200	IPE 450

Table 3.2 Table de pré-dimensionnement pour les structures poteaux-poutres

3-3 Structures poteaux-poutres

Les structures poteaux-poutres exigent la présence d'un système de contreventement indépendant dans les deux directions. Les poutres peuvent être des profilés en I ou des poutres à treillis. Le Tableau 3.2 donne certaines dimensions indicatives des poteaux et des poutres pour un pré-dimensionnement.

3-3-1 Structures poteaux-poutres à pieds de poteaux articulés

Dans les structures poteaux-poutres simples, les poteaux sont sollicités principalement en compression, ce qui permet l'utilisation de poteaux de plus faibles dimensions. Par rapport au portique, les sollicitations exercées dans la poutre sont supérieures, ce qui entraîne l'utilisation de profilés en acier de plus fortes dimensions. Etant donné que les assemblages articulés sont moins complexes que les assemblages continus, les coûts de fabrication peuvent s'en trouver réduits. Pour ce type de structure porteuse, il est nécessaire de prévoir des contreventements dans les deux directions, dans le toit ainsi que dans les murs, afin d'assurer la stabilité relative aux charges horizontales. Pour cette raison, ce type de structure est souvent utilisé pour les halls pratiquement fermés (c'est-à-dire ne possédant pas d'ouverture importante). Ceci doit également être mis en œuvre pendant la phase de montage par l'utilisation de contreventements provisoires.

3-3-2 Structures poteaux-poutres à pieds de poteaux encastrés

Lorsqu'on utilise des poteaux à pieds encastrés, il est nécessaire de prévoir des fondations de plus grandes dimensions en raison du moment fléchissant additionnel. Etant donné que la sollicitation importante dans les poteaux devient le moment et non plus l'effort normal, les dimensions de fondations nécessaires sont importantes et peuvent s'avérer peu économiques.

Les poteaux de grandes dimensions destinés aux bâtiments industriels équipés de ponts roulants peuvent être conçus comme des structures à treillis.

Comparés aux portiques, les moments internes exercés dans les traverses, ainsi que les déformations latérales, sont supérieurs. Les avantages de ce système résident dans son insensibilité aux mouvements de sol et, dans le cas d'appuis encastrés, dans le fait que la rigidité de l'appui agit dans les deux directions. La structure est donc stable après installation sans avoir recours à un contreventement supplémentaire.

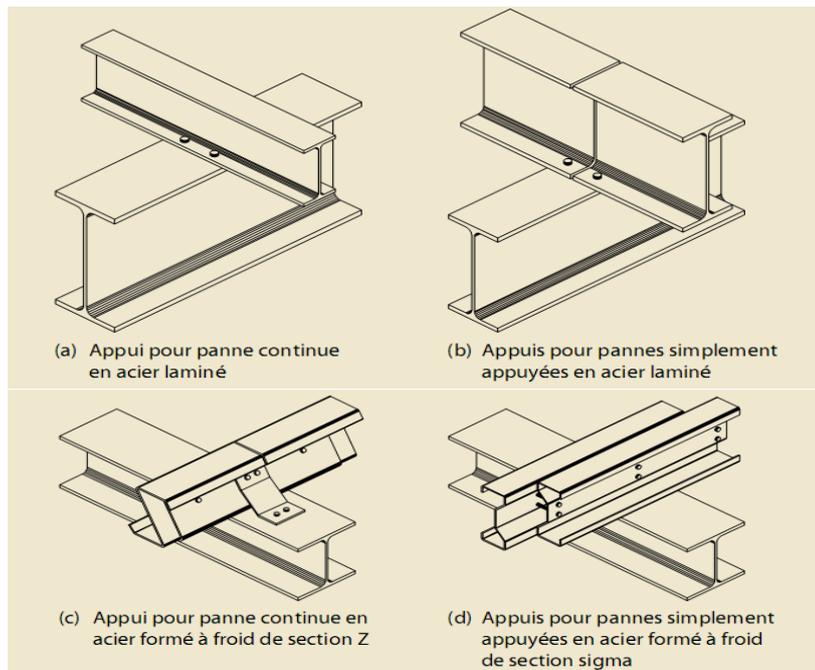


Figure 3.13 Solutions possibles pour les assemblages pannes-traverses

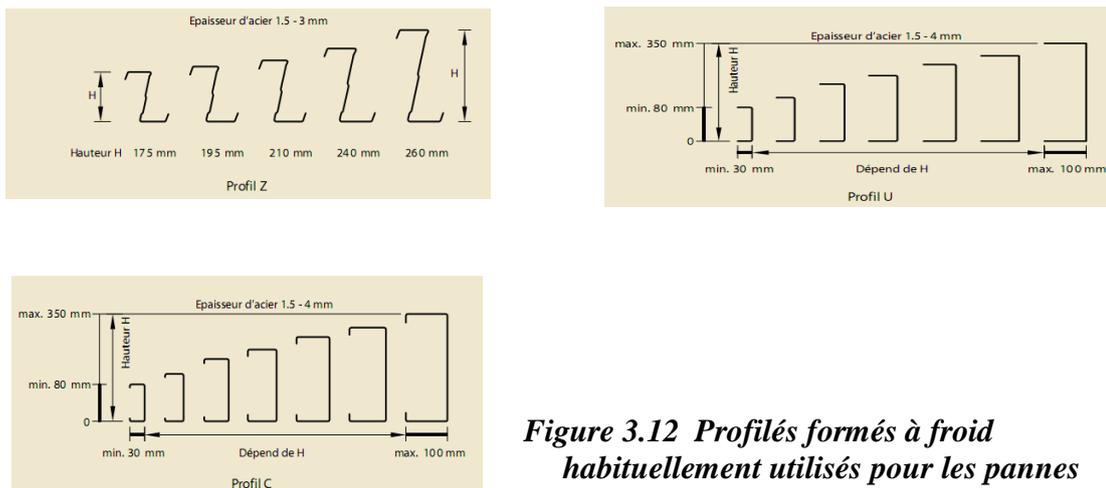


Figure 3.12 Profilés formés à froid habituellement utilisés pour les pannes

3-4 Contreventements et composants secondaires

La Figure 3.14 montre une structure de portique en acier typique avec ses composants secondaires. Des systèmes similaires sont réalisés pour les assemblages de continuité de traverses et poteaux. Les systèmes de contreventement illustrés dans la Figure 3.1 font en général appel à un contreventement (habituellement réalisé au moyen de barres) dans le plan du toit ou du mur. Des pannes et des lisses latérales supportent le toit et le revêtement de murs, et stabilisent la structure en acier contre le flambement transversal. Une autre solution consiste à utiliser des panneaux assurant une rigidité au cisaillement ou des tôles profilées en acier dont on exploite l'effet de diaphragme, pour assurer une stabilité suffisante hors du plan.

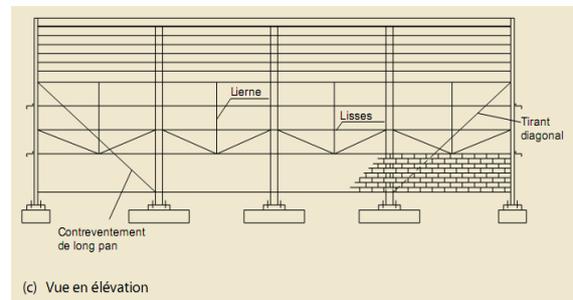
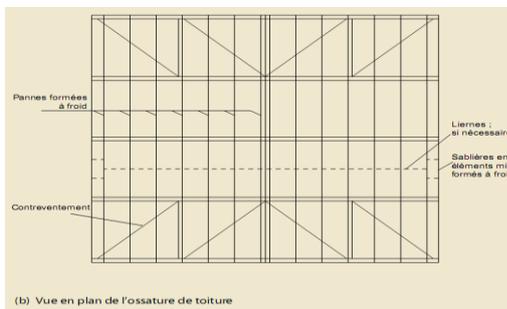
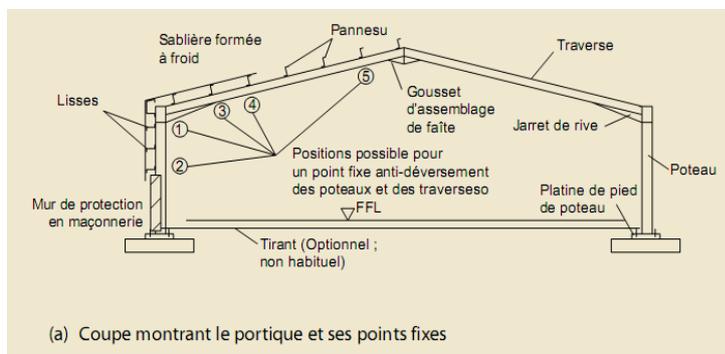


Figure 3.14 *Vue d'ensemble des composants structuraux secondaires dans une structure à portiques*

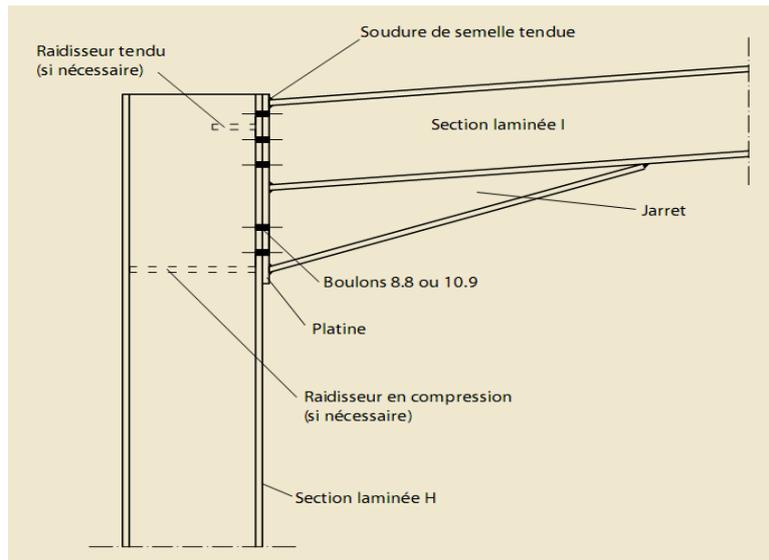


Figure 3.15 Assemblages poteaux-poutres typiques dans un portique

3-4-1 Pannes

Les pannes transmettent les efforts entre le revêtement de couverture et les éléments structuraux principaux, c'est-à-dire les traverses. En outre, elles peuvent agir comme éléments comprimés

en tant que partie du système de contreventement et participent à la stabilisation vis-à-vis du déversement de la traverse. Pour des travées allant jusqu'à 7 m, il peut s'avérer économique d'installer les tôles profilées entre les traverses sans utiliser de pannes. Des travées plus grandes permettent une réduction du nombre de plots de fondations et d'éléments structuraux principaux, mais exige le recours à des pannes plus lourdes. Dans les bâtiments industriels, on utilise des profilés en I laminés ainsi que des éléments formés à froid en Z, C, U ou à la demande, comme illustré dans la Figure 3.12.

Lorsque l'on utilise des pannes formées à froid, celles-ci sont habituellement positionnées selon un espacement d'environ 1,5 m à 2,5 m. L'espacement entre les pannes est réduit dans les zones où les charges de vent et de neige sont élevées, et lorsque la stabilité de la traverse est nécessaire, par exemple à proximité des rives et des noues. Les fabricants proposent souvent des solutions éprouvées pour les assemblages sur le profilé de la traverse, faisant appel à éléments préfabriqués en plaques d'acier, comme illustré dans la Figure 3.13.

3-5 Assemblages

Les trois assemblages principaux dans un portique à travée unique sont ceux situés au niveau des rives, du faîtage et des pieds des poteaux.

Pour les rives, on utilise le plus souvent des assemblages boulonnés comme illustré dans la Figure 3.15. Un jarret peut être réalisé par soudage d'une "chute" sur la traverse, afin d'augmenter localement sa hauteur et rendre le dimensionnement de l'assemblage plus efficace. La "chute" est souvent prise dans le même profilé en acier que celui utilisé pour la traverse.

Dans certains cas, le poteau et la partie à jarret de la traverse sont construits comme un seul élément. La partie de la traverse à hauteur constante est alors boulonnée au moyen d'un assemblage à platine.

Afin de réduire les coûts de fabrication, il est préférable de dimensionner les assemblages de rives sans avoir recours à des raidisseurs. Dans certains cas, il est nécessaire de tenir compte des effets de la réduction de la rigidité des assemblages sur le comportement global de la structure, c'est-à-dire les effets sur les sollicitations et les flèches. L'EN 1993-1-8 donne une procédure de dimensionnement prenant en compte ces effets dit de "semi-rigidité".

L'assemblage au faitage est souvent dimensionné de façon similaire, voir Figure 3.16. Si la portée de l'ossature n'excède pas les limites fixées pour le transport (environ 16 m), l'assemblage du faitage peut être réalisé en usine, hors chantier, permettant ainsi des économies.

Les pieds de poteaux sont souvent articulés, avec des tolérances plus larges afin de faciliter les interfaces entre le béton et l'acier. On trouvera des détails typiques dans la Figure 3.17.

Les assemblages articulés sont souvent préférés afin de réduire au minimum les dimensions des fondations. Toutefois, des forces horizontales élevées peuvent nécessiter le recours à des assemblages de pieds encastrés.

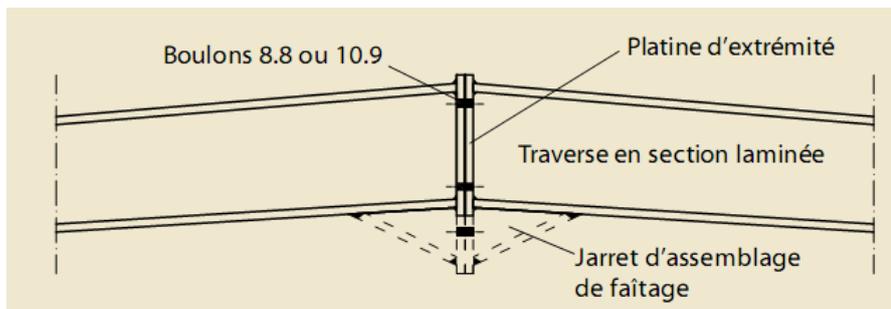


Figure 3.16 Assemblages de faitage typiques dans un portique

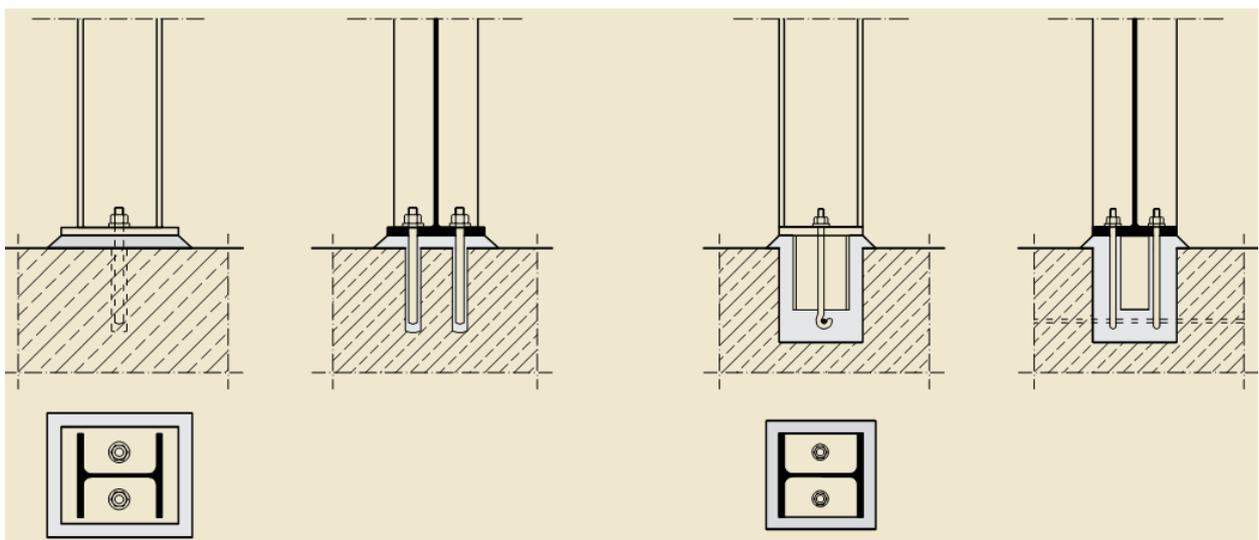


Figure 3.17 Exemples typiques de pieds de poteaux articulés dans un portique

4 Systèmes de Toits et de Façades

Le présent chapitre décrit des systèmes couramment utilisés pour les couvertures et les longs pans servant d'enveloppe au bâtiment et pouvant en même temps assurer la stabilité de la structure porteuse principale. Les principaux aspects architecturaux concernant les bâtiments à usage industriel, tels l'intégration des équipements techniques et l'éclairage sont évoqués.

4-1 Systèmes de toits

Il existe un certain nombre de types de revêtements spécifiques qui peuvent être utilisés dans les bâtiments industriels. Ils peuvent être classés en grands types et sont décrits dans les chapitres suivants.

4-1-1 Tôles à profil trapézoïdal à simple peau

Les bardages à simple peau sont largement utilisés dans les structures agricoles et industrielles lorsqu'aucune isolation n'est exigée. En général, ils peuvent être utilisés pour les toits à faible pente, jusqu'à 4°, à condition que les recouvrements et les joints d'étanchéité soient conformes aux recommandations des fabricants relatives aux faibles pentes. Les tôles sont fixées directement sur les pannes et les lisses latérales, et elles assurent une stabilisation au déversement (voir Figure 4.1). Dans certains cas, l'isolation est fixée directement sous les tôles.

En général, les tôles sont profilées avec des aciers galvanisés de nuances S 280 G, S 320 G ou S 275 G conformément à l'EN 10326. En raison du grand nombre de formes du produit, il n'existe aucune dimension normalisée pour les tôles profilées, bien qu'il existe de fortes similitudes entre les produits et les formes. L'épaisseur des tôles en acier est habituellement comprise entre 0,50 et 1,50 mm (galvanisation comprise).

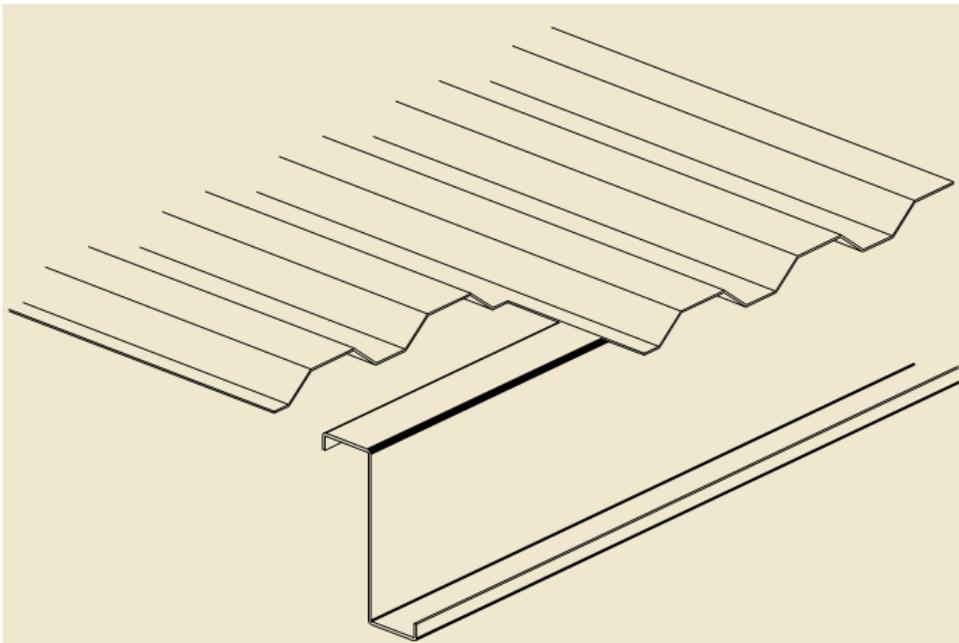


Figure 4.1 Tôles à profil trapézoïdal pour simple peau

4-1-2 Système à double peau

Les systèmes à double peau sont en général constitués d'un plateau en acier qui est fixé aux pannes, d'un système d'écarteurs (entretoises, Z, fausses pannes, etc.), d'une isolation et d'une tôle extérieure. Etant donné que la rigidité de l'assemblage entre la feuille extérieure et la feuille intérieure peut ne pas être suffisante, le plateau de doublage et les fixations doivent être choisis de telle sorte qu'ils assurent aux pannes la stabilité exigée. D'autres formes de construction possibles, faisant appel à des entretoises en plastique et à une fausse panne en Z, et des entretoises en équerre, sont illustrées dans les Figures 4.2 et 4.3.

Comme les épaisseurs d'isolation ont été augmentées pour obtenir une meilleure performance thermique, la tendance s'est orientée vers les solutions à "rail et équerres", qui assurent une plus grande stabilité.

Associés à une étanchéité appropriée des joints, les plateaux de doublage peuvent être utilisés pour former une séparation étanche. Une autre solution peut consister à poser une membrane imperméable sur le plateau de doublage.

4-1-3 Tôles profilées à joints sertis et entretoises éclipsés

Les tôles profilées à joints sertis comportent des fixations non visibles et peuvent être posées en longueurs allant jusqu'à 30 m. Les avantages sont l'absence de perforation de la tôle susceptible de donner lieu à des infiltrations d'eau, et leur mise en œuvre rapide. Les fixations sont réalisées avec des clips qui maintiennent les tôles en

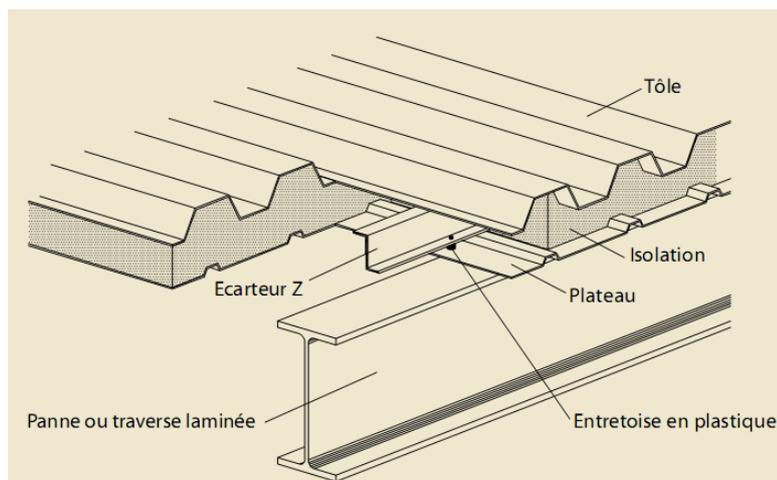


Figure 4.2 Toiture à double peau faisant appel à des écarteurs en plastique et des entretoises en Z

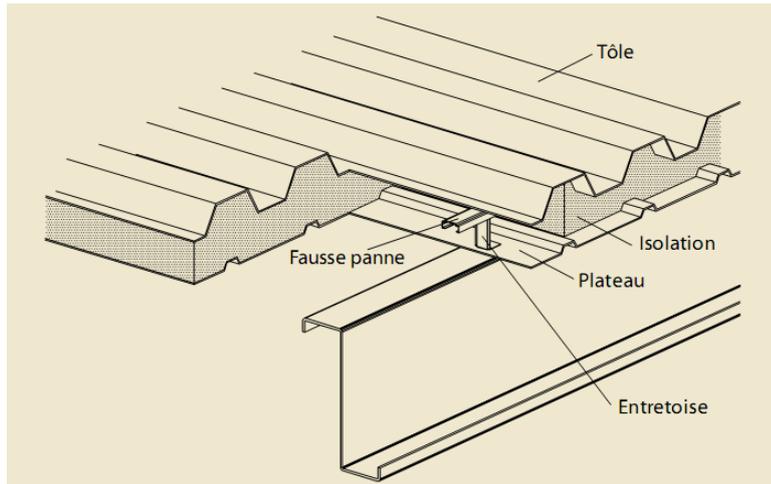


Figure 4.3 Toiture à double peau faisant appel à des entretoises à “Fausse-panne et équerres”

4-1-4 Panneaux sandwich

Les panneaux sandwich sont formés par une couche en mousse isolante placée entre une tôle intérieure et une tôle extérieure. Les panneaux sandwich possèdent de bonnes capacités de portée en raison de leur action mixte en flexion. Il existe des systèmes à joints sertis (voir Figure 4.5) ainsi que des systèmes à fixations directes. Ces systèmes assurent évidemment des niveaux.

Les éléments sandwich pour toitures ont en général une largeur de 1000 mm avec des épaisseurs variant de 70 à 110 mm, selon le degré d’isolation thermique exigée et les besoins de résistance structurelle. Malgré leur épaisseur, leur poids propre est relativement faible. Ces éléments sont donc faciles à manipuler et à assembler. Des longueurs pouvant aller jusqu’à 20 m pour les toits et les façades permettent de réaliser des constructions avec un faible nombre de joints. La tôle extérieure est habituellement en acier galvanisée de 0,4 à 1,0 mm d’épaisseur.

Les faces intérieures des panneaux-sandwich sont souvent rainurées ; des modèles spéciaux à surface plane sont disponibles. Des modèles à fines cannelures ont également été réalisés,

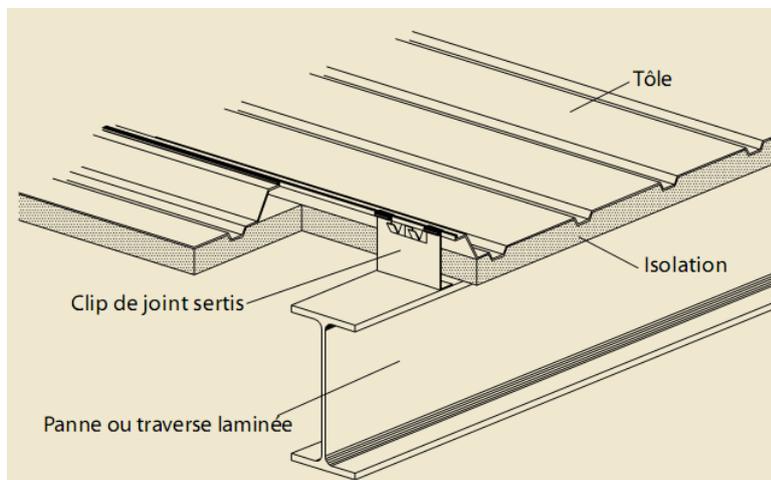


Figure 4.4 Panneaux à joints sertis avec plateaux de doublage

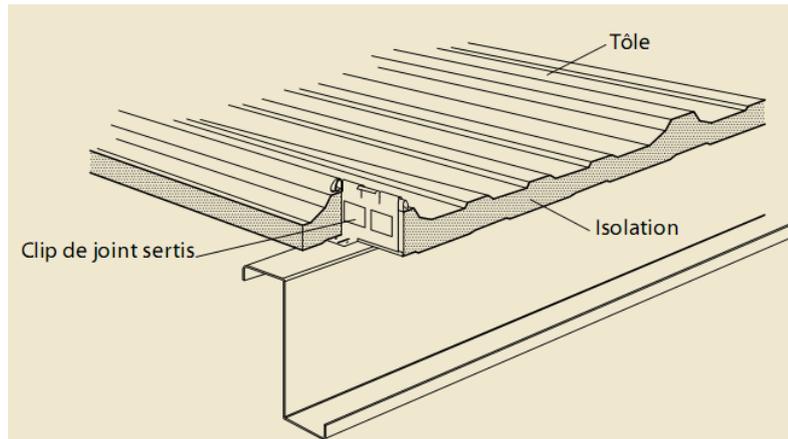


Figure 4.5 *Panneaux sandwich avec clips de fixation*

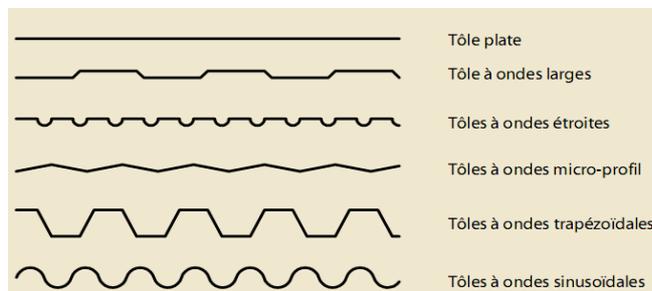


Figure 4.6 *Types de profilages extérieurs pour panneaux-sandwich*

Nombreux avantages offerts par les panneaux mixtes ou les panneaux-sandwich :

- La fabrication des panneaux permet une réduction des délais de construction et un bon rapport qualité-prix
- Bonne performance en physique du bâtiment
- Possibilité d'installation dans presque toutes les conditions météorologiques

- Longues portées possibles, ce qui réduit à un minimum le nombre d'éléments de la structure support donnant l'impression d'une surface plane à une certaine distance bien qu'étant profilés. La Figure 4.6 montre quelques types de profilage extérieurs de panneaux-sandwich.

- Les exigences relatives à la protection anticorrosion des panneaux sandwich sont les mêmes que pour les tôles en acier à profil trapézoïdal. En ce qui concerne les mousses d'isolation en mousse, les solutions suivantes ont été développées :
 1. Mousse polyuréthane rigide ;
 2. Matériau isolant minéral/en fibre ;
 3. Polystyrène (utilisé exceptionnellement en raison de son faible pouvoir isolant).

Les tôles et mousses sont des matériaux physiologiquement neutres à la fois lors de la production, de l'assemblage et en usage permanent dans le bâtiment.

La mousse est inodore, imputrescible et résistante aux moisissures. Elle est en outre facilement recyclable.

Un facteur primordial qui doit être pris en compte pour le dimensionnement des panneaux-sandwich est le gradient de température dans l'élément. Le rayonnement solaire peut échauffer et dilater la tôle extérieure, ce qui peut à la longue induire la séparation entre les peaux intérieure et extérieure.

Pour les panneaux simplement appuyés, ceci provoque une flexion du panneau. Même si ce phénomène ne génère aucune sollicitation supplémentaire, il peut affecter l'aspect de l'enveloppe.

Pour les panneaux posés en continuité, sur les appuis intermédiaires, le panneau est soumis à flexion et cintrage. Cela génère des efforts de compression dans les tôles, ce qui peut entraîner le voilement du panneau. Plus la couleur du panneau est sombre, plus les efforts de compression sont élevés. Par conséquent, pour les panneaux posés en continuités, il faut effectuer des calculs de vérifications pour deux situations : calculs pour périodes d'été et pour périodes hivernales, en prenant en compte le coloris du panneau.

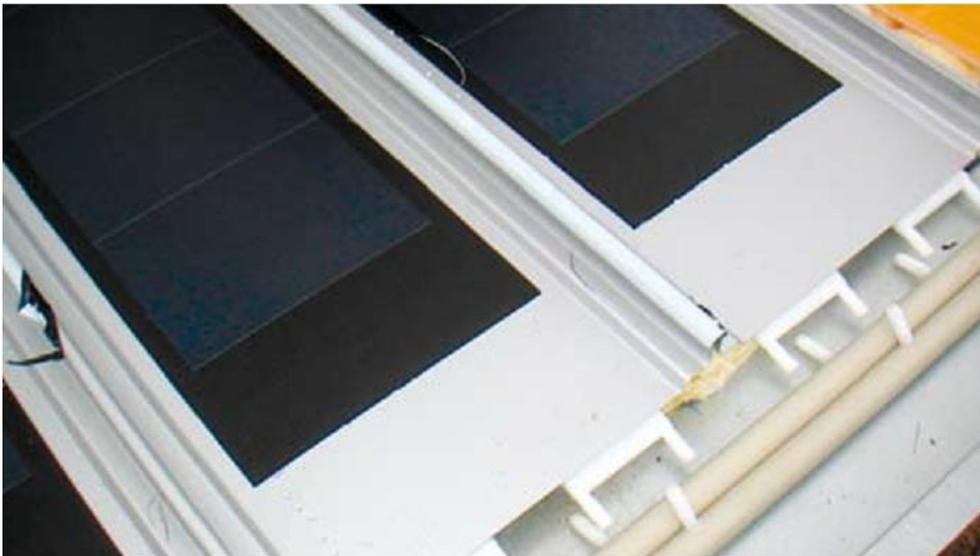


Figure 4.7 *Panneaux solaires et refroidissement par eau.*

Source : Corus

Au niveau européen, l'EN 14509 (en préparation) présente une méthode de dimensionnement structural ainsi que les principes de production et les exigences de qualité des panneaux-sandwich.

De plus amples informations peuvent être obtenues auprès des fabricants.

Systèmes de couvertures spéciaux

Dans un bâtiment industriel, un toit plat couvre une grande surface et est exposé au rayonnement solaire. On peut tirer avantage de cette situation en intégrant dans le toit une



Figure 4.10 *Panneaux mixtes positionnés horizontalement et long bandeaux de fenêtres*



Figure 4.11 *Grande fenêtre et panneaux mixtes avec “mur de protection en briques*

Pour la fixation des tôles en acier, on utilise des vis (auto-taraudeuses) ou des rivets. Pour les tôles profilées, au moins une onde sur deux doit être fixée sur la structure support. Si les tôles sont utilisées comme diaphragme, le nombre de fixation doit être calculé de sorte qu’elles résistent au flux de cisaillement appliqué.

Pour les éléments sandwich, le concepteur doit tenir compte du système de fixation sur la résistance du panneau.

La Figure 4.8 montre les différents types d’éléments de fixation en fonction de la structure support.

Systèmes de murs et façades

Il existe de nombreux systèmes pour la conception des murs extérieurs de bâtiments industriels. Les revêtements en tôles d’acier sont les plus couramment utilisés, car ils offrent un haut niveau de qualité, un montage rapide et un bon rapport qualité-prix. En général, les revêtements en tôles peuvent être classés dans les mêmes types que les revêtements de toit, de la façon suivante :

- Tôles, orientées verticalement et posées sur des lisses ;

- Tôles ou plateaux de doublage structuraux posés horizontalement entre les poteaux ;
- Panneaux-sandwich posés horizontalement entre les poteaux, rendant ainsi les lisses inutiles ;
- Cassette métallique supportée par des lisses.

Différentes formes de revêtements peuvent être utilisées simultanément pour obtenir des effets visuels sur une même façade. Quelques exemples sont illustrés dans les Figures 4.9 à 4.11.

La brique est parfois utilisée comme mur “d’appui” pour des raisons de résistance aux impacts, comme illustré dans la Figure 4.11.

Panneaux mixtes ou panneaux-sandwich

Les panneaux sandwich sont des éléments à double peau produits en continu et comportant divers types d’âmes isolantes. Ils constituent le choix le plus courant de murs pour les bâtiments industriels en Europe. Pour les murs, les éléments sandwich ont une largeur de 600 à 1200 mm et une épaisseur de 40 à 120 mm, et dans certains cas jusqu’à 200 mm pour les éléments utilisés dans les entrepôts frigorifiques.

Pour obtenir un aspect esthétique du bâtiment, il est important de prendre en compte les facteurs suivants :

- Texture de surface.
- Coloris.
- Détails constructifs des joints.
- Type de fixation.

En outre, pour une construction moderne, le client souhaite des fixations non visibles et des transitions propres au niveau des angles du bâtiment. Néanmoins, les fixations traversantes sont encore couramment utilisées. Les Figure 4.5 et 4.12 présentent des détails constructifs avec des fixations non visibles, soit des éléments utilisant des clips de fixation séparés. Lorsqu’on utilise des clips de fixation séparés, il est possible d’éviter les petites bosselures qui peuvent apparaître au niveau des fixations lors d’un montage défectueux ou de l’effet de la température.

Quant à la finition des façades, il existe des composants spécialement formés pour les transitions entre les façades et le toit. Pour la réalisation de façades de haute qualité, les fabricants proposent des composants cintrés pour le toit ou les angles de rives. Ces composants spéciaux doivent être de qualité et de couleurs identiques à celles des composants adjacents.

Résistance incendie des murs

Lorsque les bâtiments sont proches des limites du site, les règles de construction nationales exigent en général que le mur soit conçu de sorte à empêcher la propagation du feu aux biens adjacents. Les essais au feu ont montré qu’un certain nombre de types de panneaux se comportent de manière satisfaisante, à condition qu’ils restent fixés à la structure. Des informations complémentaires peuvent être obtenues auprès des fabricants.

Il est souvent nécessaire de prévoir des trous oblongs pour les joints sur lisses afin de permettre la dilatation thermique. Pour garantir que cela ne compromet pas la stabilité du

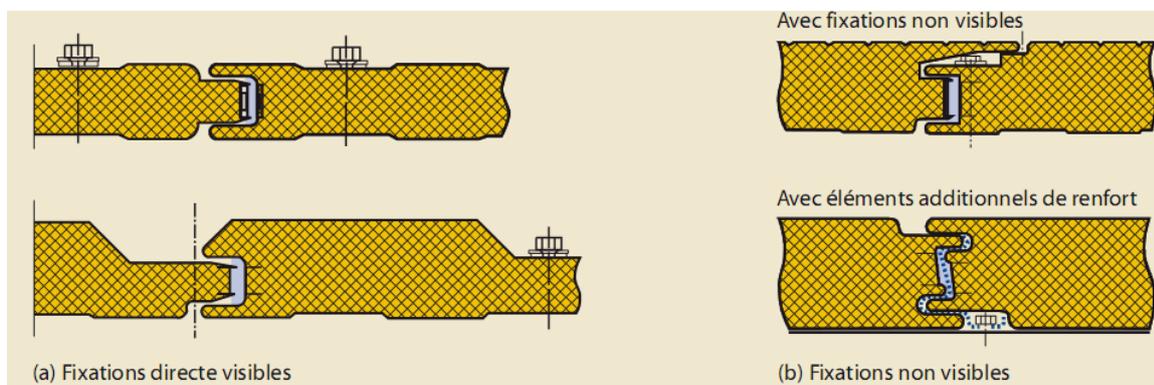
poteau en supprimant la stabilité en conditions normales, les trous oblongs sont munis de rondelles faites dans un matériau qui fond à haute température, permettant ainsi le mouvement de la lisse par rapport aux poteaux en cas d'incendie uniquement. Un exemple de ce type de détail constructif est illustré dans la Figure 4.13.

Autres types de façades

De nombreux matériaux pour façades peuvent être utilisés pour les bâtiments industriels, par exemple le verre, comme illustré dans la Figure 4.14. L'utilisation de ces façades de haute qualité architecturale n'entraîne pas automatiquement une augmentation des coûts. Dans l'exemple de la Figure 4.14, on a utilisé des profilés laminés à chaud pour l'ossature ainsi qu'un système de façade normalisé. Grâce à la prise en compte des apports solaires dans le bilan thermique, on a également réduit de manière significative les coûts de fonctionnement. La structure supportant la façade ainsi que les détails constructifs peuvent être adaptés à partir de solutions adoptées pour les bâtiments à plusieurs niveaux, dans lesquels l'utilisation de ces types d'enveloppes est pratique courante.

Une autre façon innovante de concevoir des bâtiments industriels d'une manière architecturalement attrayant consiste à utiliser différentes couleurs pour la façade. Une grande variété de coloris, y compris les finitions métalliques et les nuances pastel, sont disponibles auprès de nombreux fournisseurs de tôles profilées. La Figure 4.15 montre un exemple de bâtiment bien intégré à son environnement grâce à l'utilisation de façades colorées.

Des panneaux photovoltaïques peuvent également être intégrés dans la façade. Même si l'angle d'incidence des rayons solaires n'est pas optimal, l'utilisation de revêtements multicouches fait que les cellules sont moins dépendantes de l'angle d'incidence des rayons solaire. Un exemple de cette technologie est illustré dans la Figure 4.16.



**Figure 4.12 Exemples de modes de fixation pour façades en panneaux-sandwich. Stahl-
Informations-Zentrum : Dach
und Fassadenelemente aus Stahl - Erfolgreich Planen und Konstruieren, Dokumentation
588, Düsseldorf, 2005**

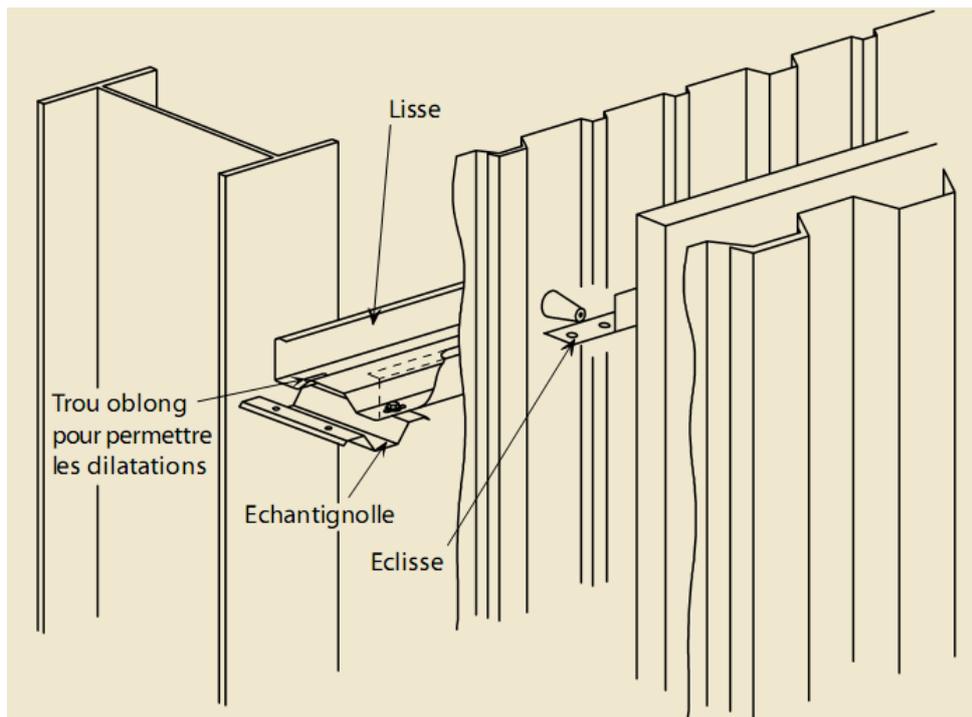


Figure 4.13 Détails typiques de mur coupe-feu montrant les trous oblongs permettant la dilatation lors d'un incendie



Figure 4.14 Bâtiment industriel à façade vitrée. Source : BAUEN MIT STAHL e.V.



Figure 4.15 Bâtiment industriel à façade colorée. Source : www.tks-bau-photos.com



Figure 4.16 Façade avec panneaux solaires intégrés. Source : www.tks-bau-photos.com