

Conception d'une ossature principale à un bâtiment halle

1. 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.

2. 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.

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.

3. 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 encastrés 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 encastrés (a) ou articulés (b). Des pieds de poteaux encastrés 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.

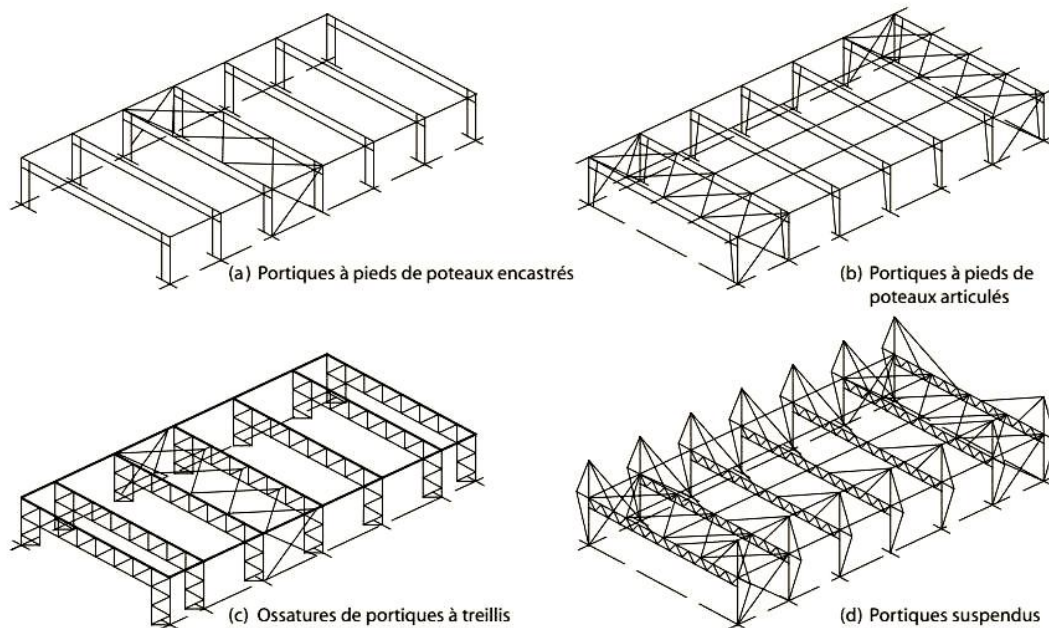


Figure 2.1 Exemples de structures à portiques

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.

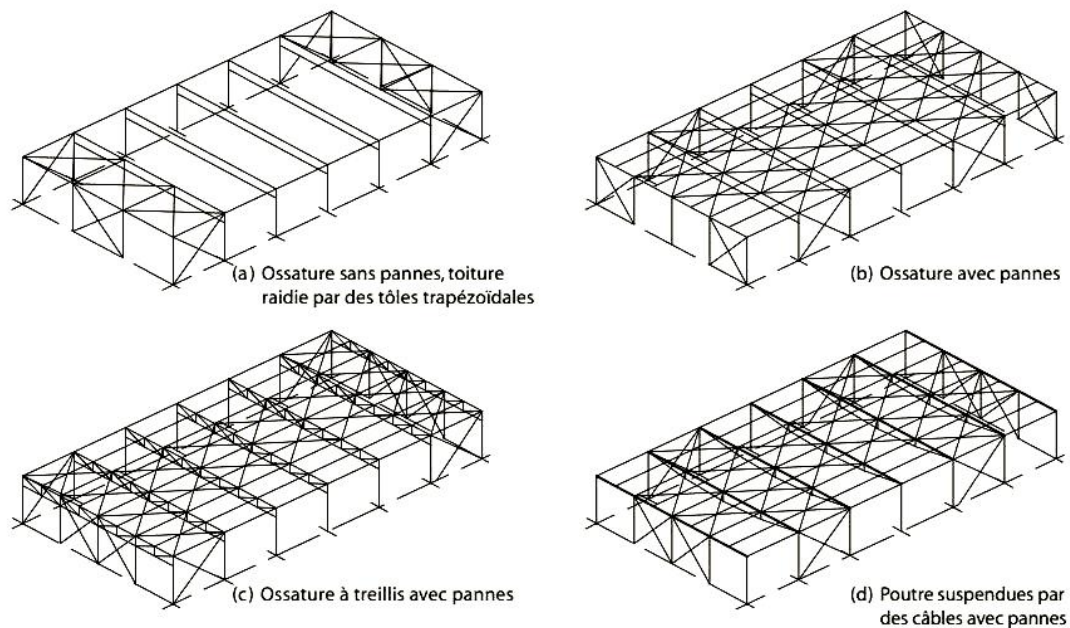


Figure 2.2 Exemples de structures poteaux-poutres

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).

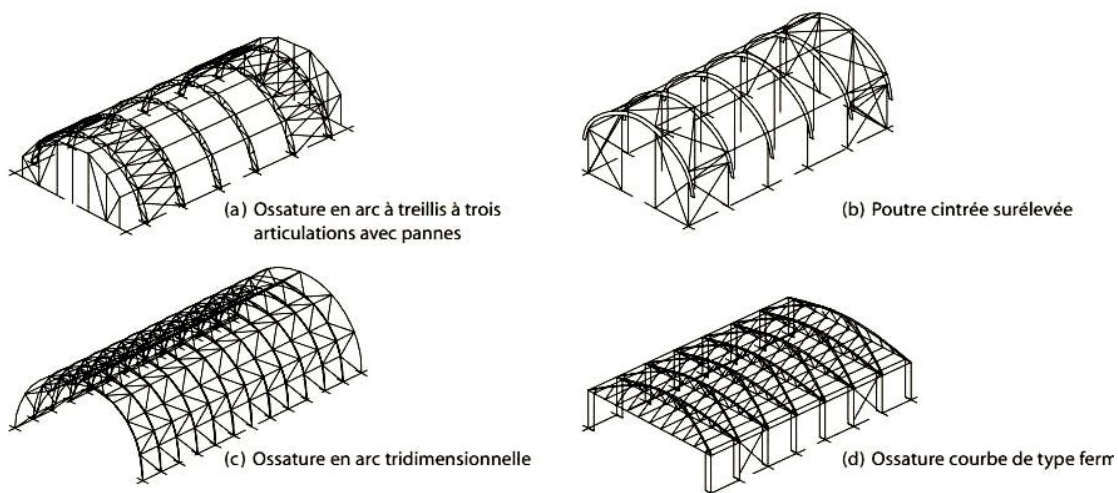


Figure 2.3 Exemples de structures cintrées ou à arcs

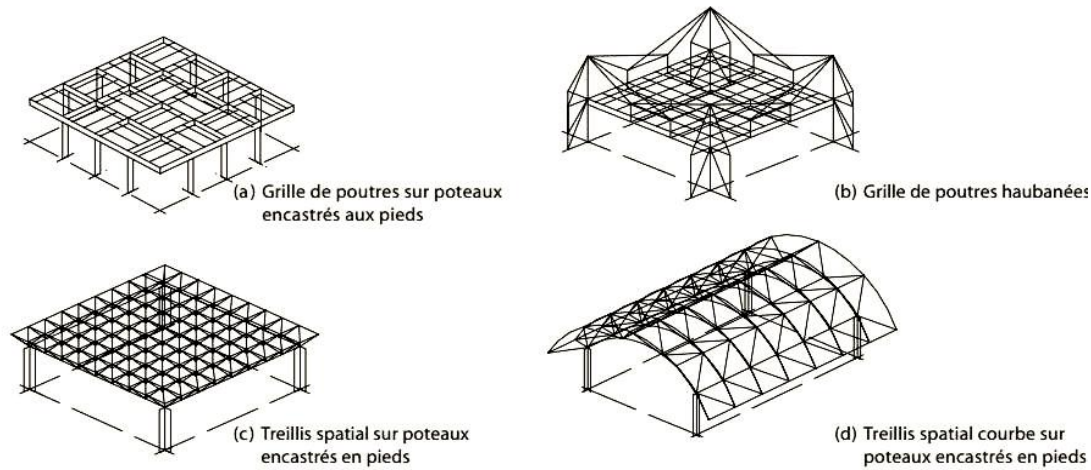


Figure 2.4 Exemples de structures spatiales

4. Portiques:

Les portiques en acier sont largement utilisés dans la plupart des pays européens car ils associent efficacité 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.

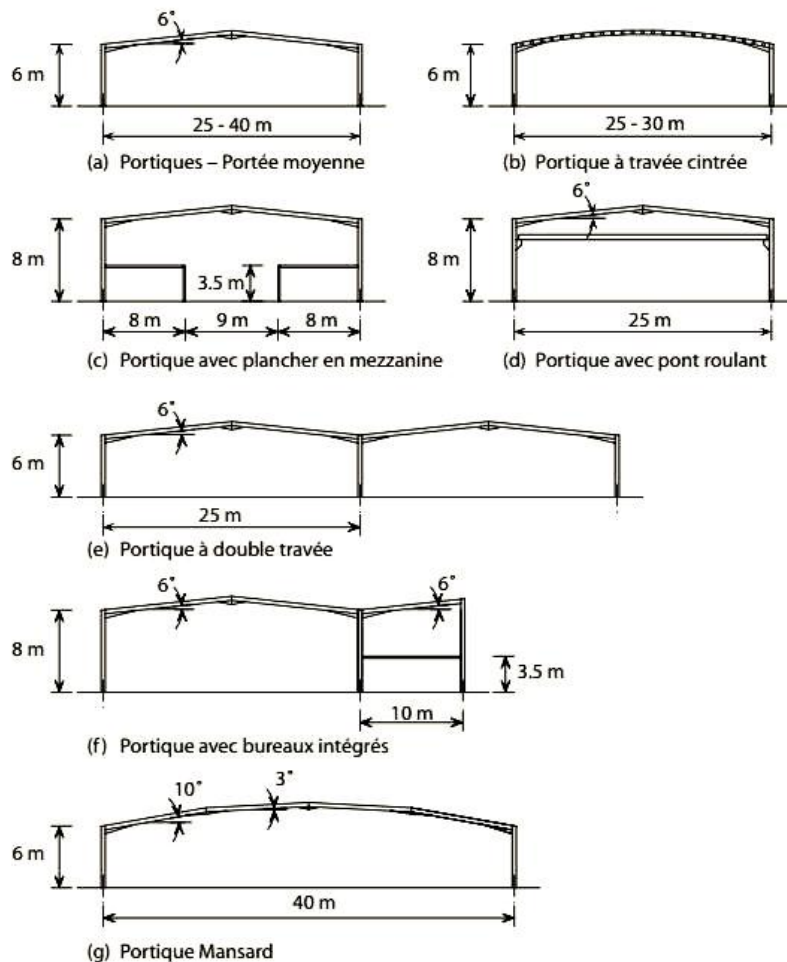


Figure 2.5 Différentes formes de portiques

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).



Figure 2.6 Portique à travée unique liaissonné



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

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.



Figure 2.8 *Poutres cintrées utilisées dans une structure à portiques*

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.



Figure 2.9 *Assemblages innovants résistant aux moments dans un bâtiment industriel*

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



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

5. 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 fermes 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.

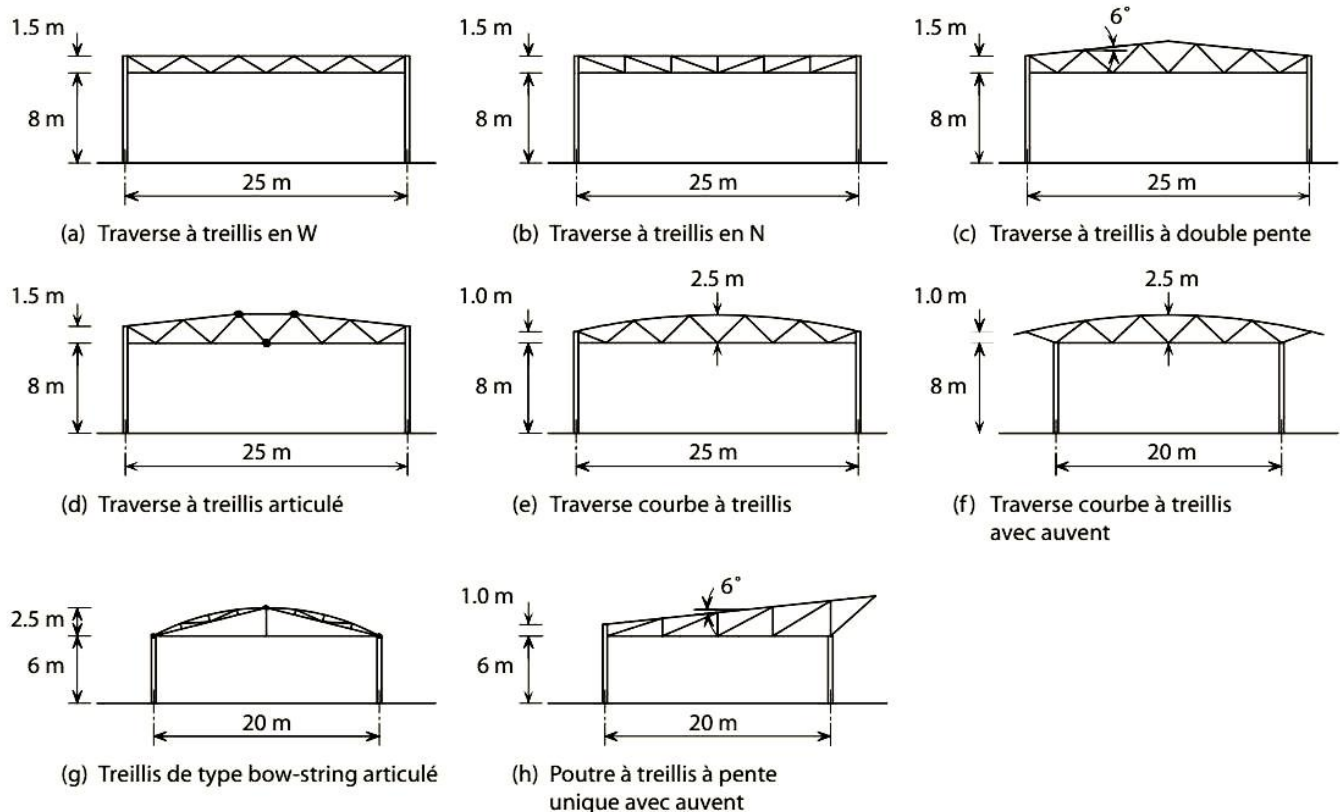


Figure 2.11 Différentes formes de fermes à treillis utilisées dans les bâtiments industriels



Figure 2.12 Ferme à treillis utilisant des éléments tubulaires

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 2.13 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.

6. Sécurité incendie :

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.

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.

7. Physique du bâtiment :

7.1 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.

7.2 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.

7.3 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.

8. Considérations relatives à la conception :

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.

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.

Table 2.3 Facteurs de dimensionnement important pour les bâtiments industriels

Type de bâtiment industriel à un seul niveau	Questions relatives à la conception et au dimensionnement															
	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															

9. Dalle :

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.

10. 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.

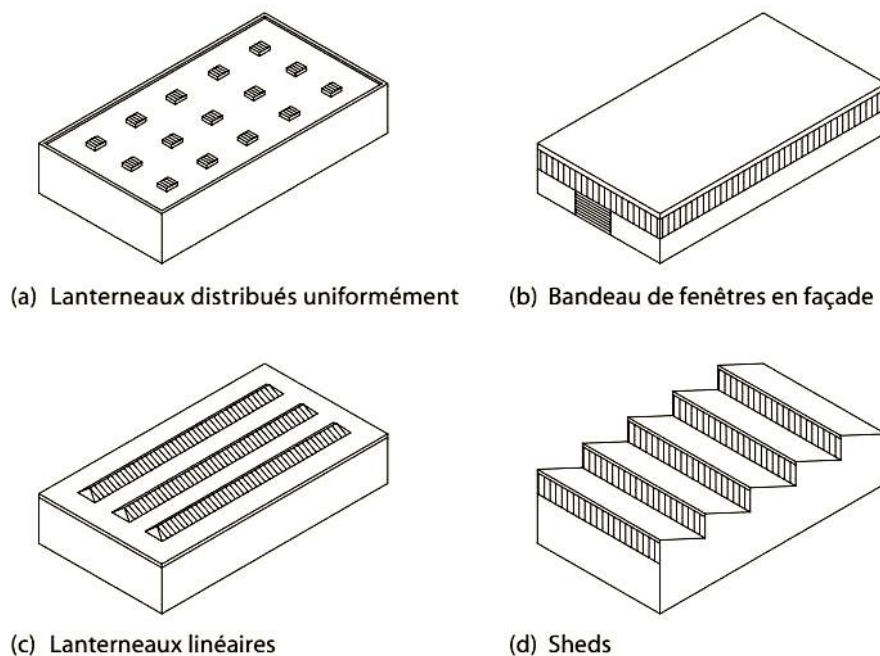


Figure 2.18 Exemples de méthodes utilisées pour assurer un éclairage naturel dans les bâtiments industriels

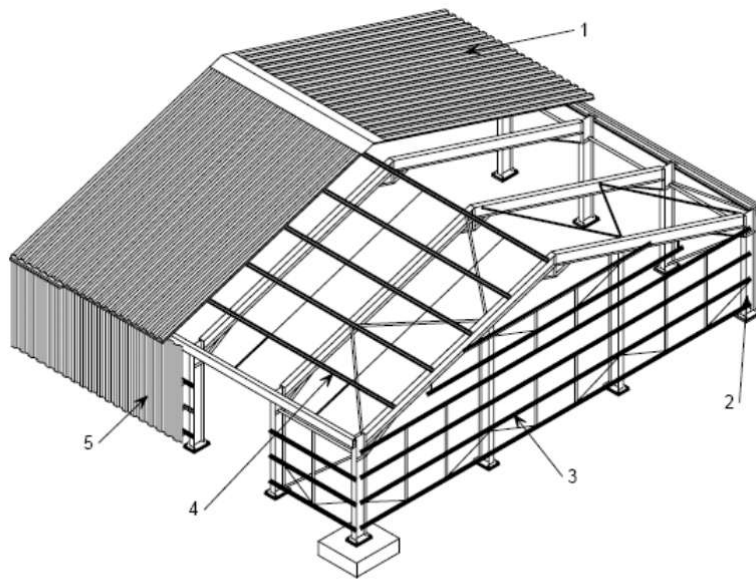
11. Exemples de bâtiments métalliques à un seul niveau et de grande portée:

11.1. Introduction et terminologie des différents composants:

Bâtiments industriels, constructions sportives, marchés, hangars, ateliers d'aviation, grandes surfaces, halls d'exposition...

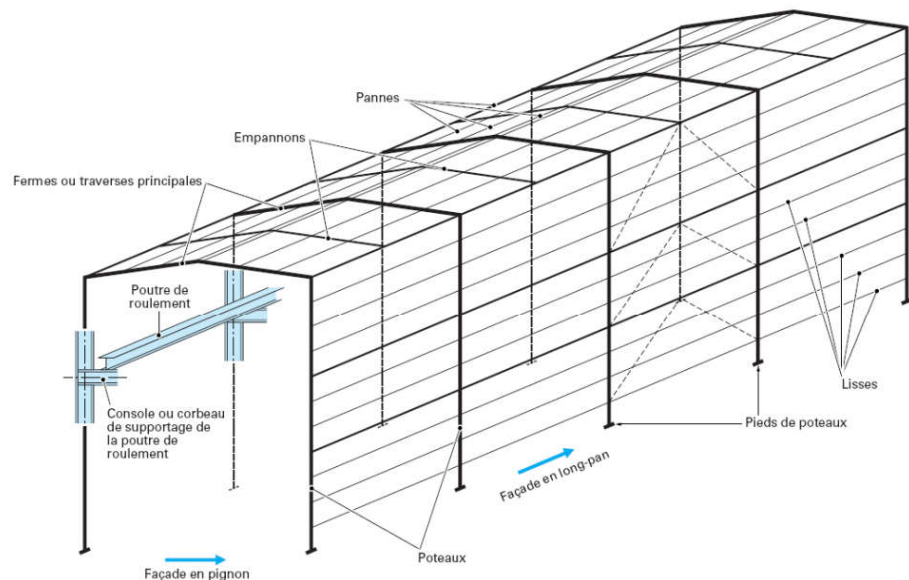
Systèmes structuraux :

On distingue les structures *principales*, les structures *secondaires* (comme les *contreventements*, les *pannes* et les *lisses*) destinées à supporter *l'enveloppe* du bâtiment.



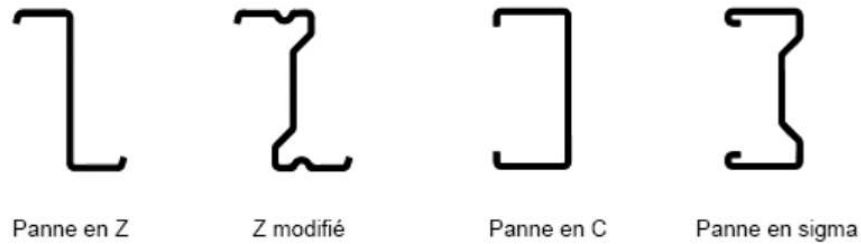
Légende

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| 1. Couverture de la toiture en acier | 4. Pannes |
| 2. Ossature principale en acier | 5. Bardage |
| 3. Lisses | |



- On distingue deux types d'enveloppes :
 - ✓ Les enveloppes horizontales ou les toitures : systèmes de **couvertures**.
 - ✓ Les enveloppes verticales : systèmes de **bardages**.
- La couverture s'appuie habituellement sur des **pannes** et le bardage sur des **lisses**, bien que dans certains pays (nordiques par exemple), la pratique soit différente.

- Les **pannes** sont des éléments porteurs secondaires qui reprennent les charges permanentes des éléments de couverture ainsi que les surcharges sur la toiture (vent, neige, etc.) et les transmettent aux éléments porteurs principaux (fermes du bâtiment).
- Les pannes et les lisses sont souvent formées à partir de profilés galvanisés, laminés à froid, à section en Z ou en C, qui s'appuient sur l'ossature principale.



- Des profilés laminés à chaud peuvent être utilisés pour les pannes et les lisses, en particulier dans le cas de bardage et de couverture de grande portée (ce qui conduit à des charges plus importantes) et aussi lorsqu'il est nécessaire de suspendre des charges significatives à la toiture.

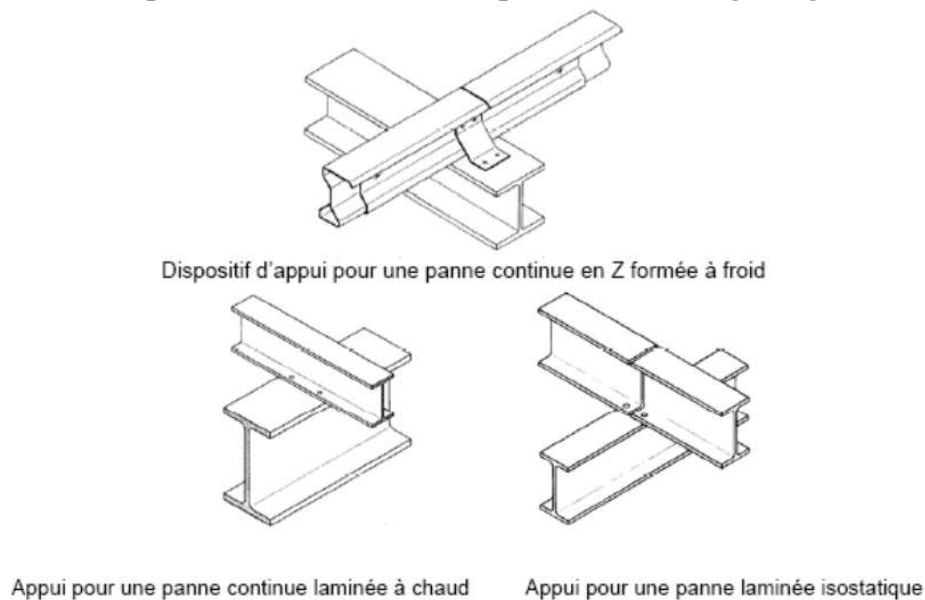


Fig.2.19 : Solutions pour l'assemblage panne sur traverse

- Les **lisses** sont des poutres horizontales qui ont pour fonction de supporter les éléments de bardage et de transmettre aux poteaux et montants les surcharges de vent s'appliquant sur la surface du bardage.
Les lisses peuvent servir aussi de barres de contre-flambement aux poteaux.
- La portée habituelle des éléments de l'enveloppe est comprise entre **1,5 et 2,0 m** et celle des éléments secondaires est généralement de **6 à 8 m**.
- Les portiques peuvent avoir une portée de **15 à 60 m**. (toutefois les portées comprises entre **20 et 30 m** sont généralement les plus économiques).

- Pour les grands bâtiments, il est généralement plus économique de les diviser en travées de **20 à 30 m**, à condition que la présence de poteaux intermédiaires ne nuise pas à l'exploitation du bâtiment.
- L'espacement des portiques est compris entre **4,5 et 10 m**, un écart de **6 à 8 m** étant le plus courant en cas d'utilisation d'un système de pannes, et un écart moindre lorsque l'enveloppe du bâtiment repose directement sur les portiques.

11.2. Règles empiriques de prédimensionnement :

Table 2.4: Quelques règles empiriques de prédimensionnement :

Panne continue de toiture en profilé laminé	$h \cong 1/40$
Panne continue de toiture en profil formé à froid	$h \cong 1/30$
Lisse continue de façade en profilé laminé	$h \cong 1/40$
Traverse de portique en profilé laminé	$h \cong 1/30$
Traverse de portique en profil composé à âme pleine	$h \cong 1/15 \text{ à } 1/20$
Ferme à treillis de hauteur constante	$h \cong 1/12$
Ferme à treillis de forme triangulaire	$h \cong 1/4 \text{ à } 1/6$
Poteau de portique en profilé laminé encastré à la traverse	Profilé HE de même aire de section que la traverse
Poteau de portique en profilé laminé bi-articulé	Profilé HE d'élancement $\lambda = l_t / i \leq 50$
Diagonale de contreventement triangulé	Profil d'élancement $\lambda = l_t / i \leq 250$