

Bonnes Pratiques pour la Construction de Structures en Acier

BÂTIMENTS À USAGE

INDUSTRIEL

Guide destiné aux Architectes, Concepteurs et Constructeurs



Table des Matières



Le CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Métallique) est un établissement d'utilité publique de droit privé, dont l'objet est de promouvoir le progrès des techniques, de participer à l'amélioration du rendement et de garantir la qualité dans l'industrie de la construction métallique. Il organise et réalise des recherches collectives au service des entreprises nationales et inscrit ses activités dans le contexte européen du secteur de la construction. Il est un centre de compétences techniques dont le domaine de recherche couvre le comportement, la conception et le calcul des structures en acier et mixtes acier-béton, y compris en situation sismique, de fatigue et de résistance incendie, ainsi que les aspects liés au développement durable. Il est responsable de la normalisation pour la construction métallique. Il transfère les connaissances par l'information, la formation et les publications.

www.cticm.com

Cette publication présente les bonnes pratiques du dimensionnement des bâtiments à usage industriel faisant appel aux technologies de la construction métallique. Elle s'adresse aux architectes et aux bureaux d'étude lors des pré-projets de bâtiment à usage industriel. Elle fait partie d'une série de trois ouvrages publiés dans le cadre d'un projet du FRCA intitulé Eurobuild (Projet n° RFS2-CT-2007-00029). L'objectif de ce projet est d'informer sur les bonnes pratiques pour le dimensionnement des structures métalliques et de proposer une approche pour la prochaine génération de bâtiments construits en acier. Les autres publications de ce projet traitent des bâtiments commerciaux et des bâtiments résidentiels.

Les partenaires du projet EuroBuild sont les suivants :

AcelorMittal

Bouwen met Staal

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)

Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)

Labein Tecnalìa

SBI

The Steel Construction Institute (SCI)

Technische Universität Dortmund

Bien que toutes les précautions aient été prises pour garantir, au mieux des connaissances actuelles, l'exactitude de toutes les données et informations contenues dans cette publication dans la mesure où elles concernent des faits, des pratiques reconnues ou des opinions existant à la date de publication, les partenaires du projet Euro-Build, les auteurs et les relecteurs déclinent toute responsabilité pour toute erreur, mauvaise interprétation de ces données et/ou informations, perte ou dommage découlant de leur utilisation ou en relation avec elle.

ISBN 978-1-85942-077-5

© 2008. Centre Technique Industriel de la Construction Métallique.

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier du Fonds de Recherche pour le Charbon et l'Acier de la Commission Européenne.

Photographie de couverture : Mors company building, Opmeer / Pays-Bas.

Photographie réalisée par : J. et F. Versnel, Amsterdam.

01 Introduction



02 Facteurs-cles pour la Conception



03 Structures Porteuses



04 Systemes de Toits et de Façades



05 Pratique Nationale



06 Etudes de Cas



01 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*

02 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.

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

Formes de Bâtiments Industriels

Sécurité Incendie

Physique du Bâtiment

Charges

Considérations Relatives à la Conception

Dalles

Intégration des Équipements Techniques

Eclairage

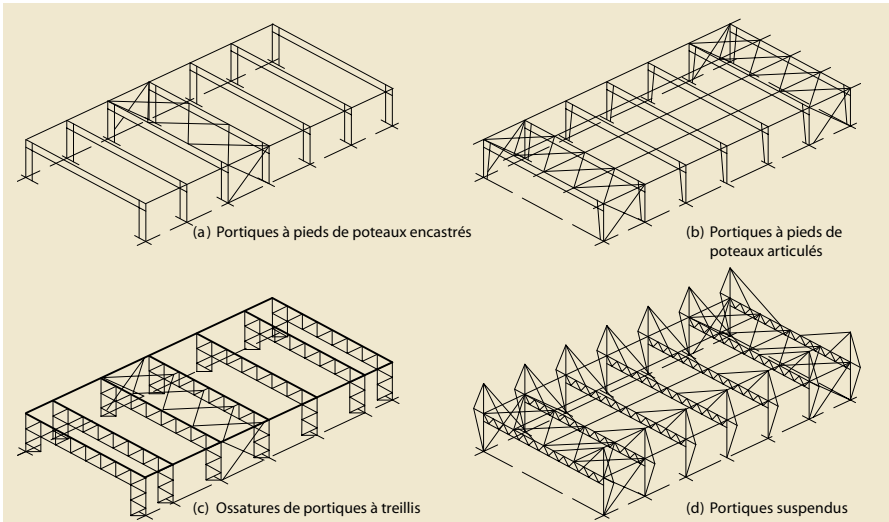


Figure 2.1 Exemples de structures à portiques

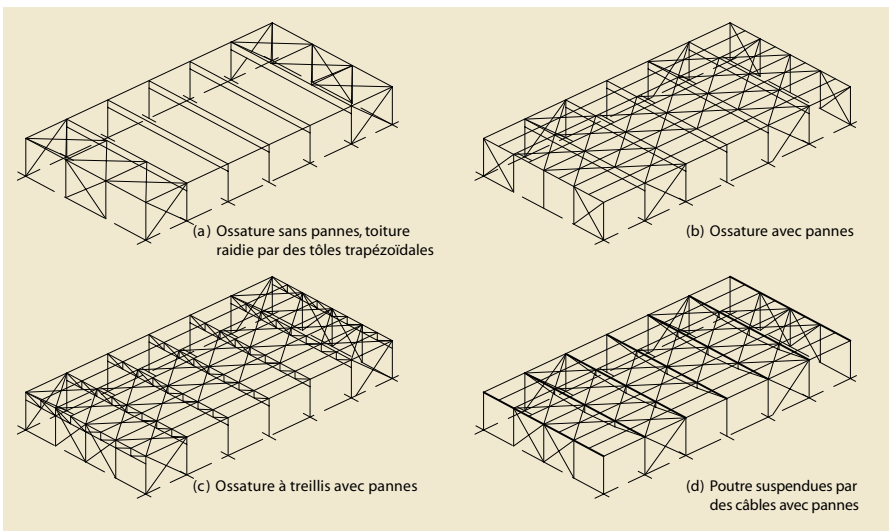


Figure 2.2 Exemples de structures poteaux-poutres

être soigneusement conçus vis-à-vis des déperditions thermiques possibles. Les détails complexes de ces types de structure servent également à des fins architecturales.

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 situé 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).

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 2.3 Exemples de structures cintrées ou à arcs

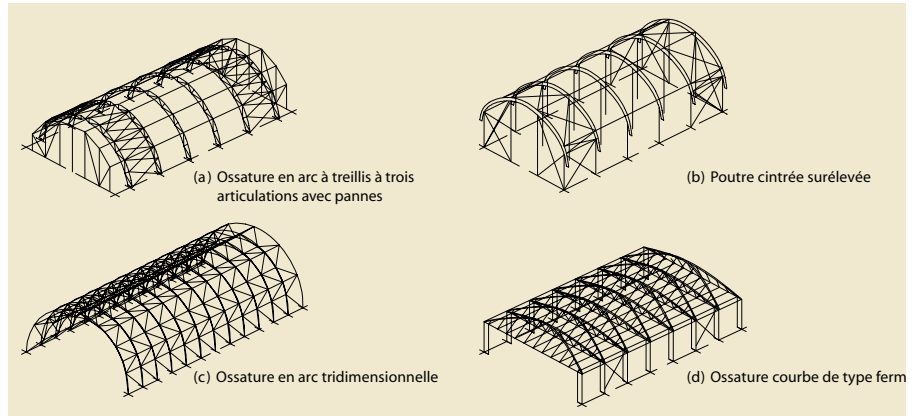


Figure 2.4 Exemples de structures spatiales

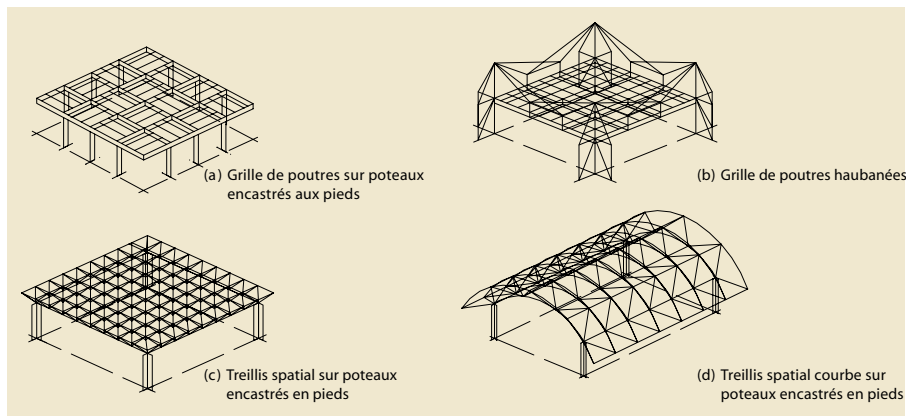


Figure 2.5 Différentes formes de portiques

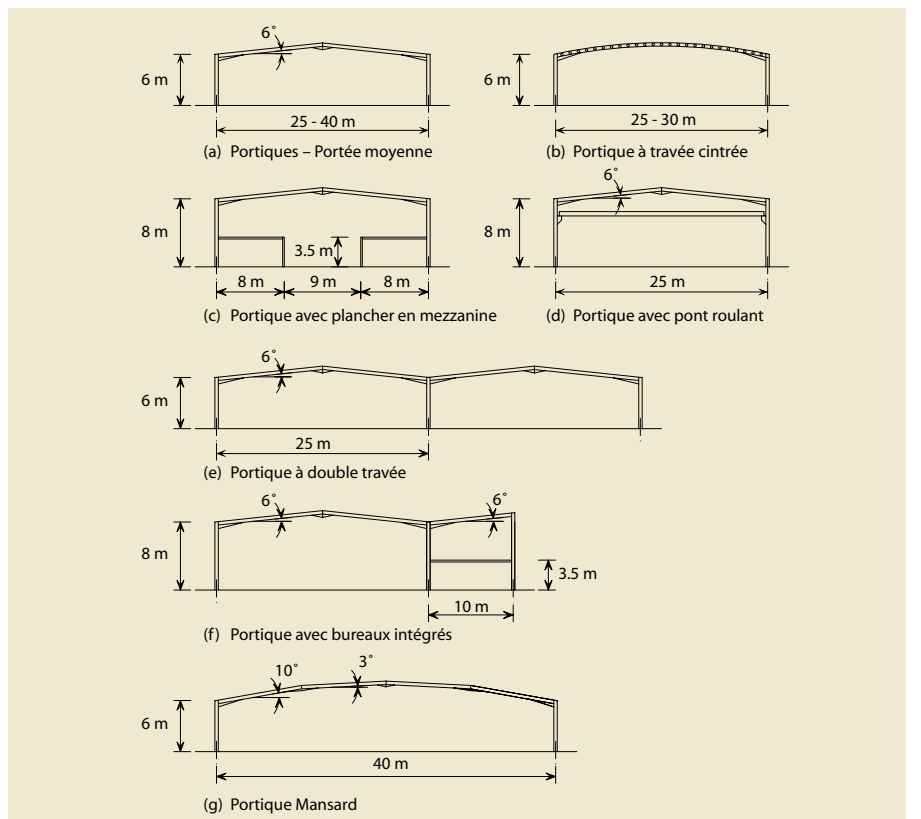




Figure 2.6 *Portique à travée unique liaisonné*

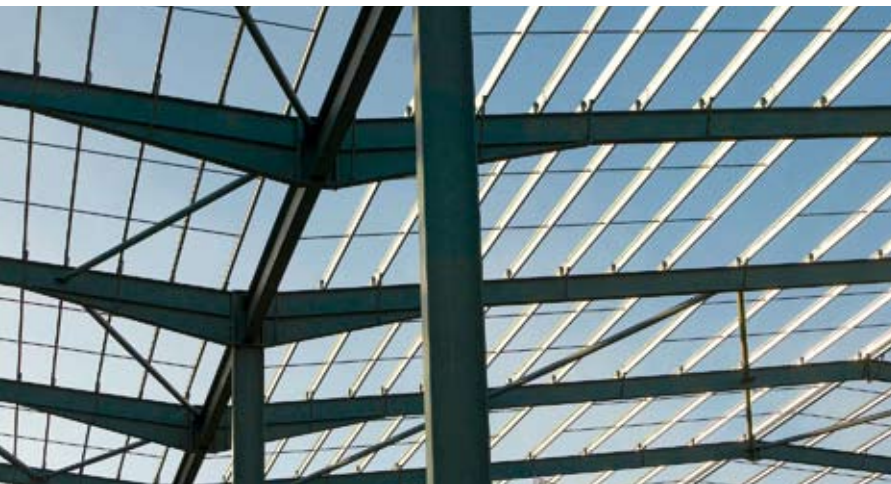


Figure 2.7 *Portique à double travée avec pannes et contreventement de toit Kingspan Ltd*



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.

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. 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.

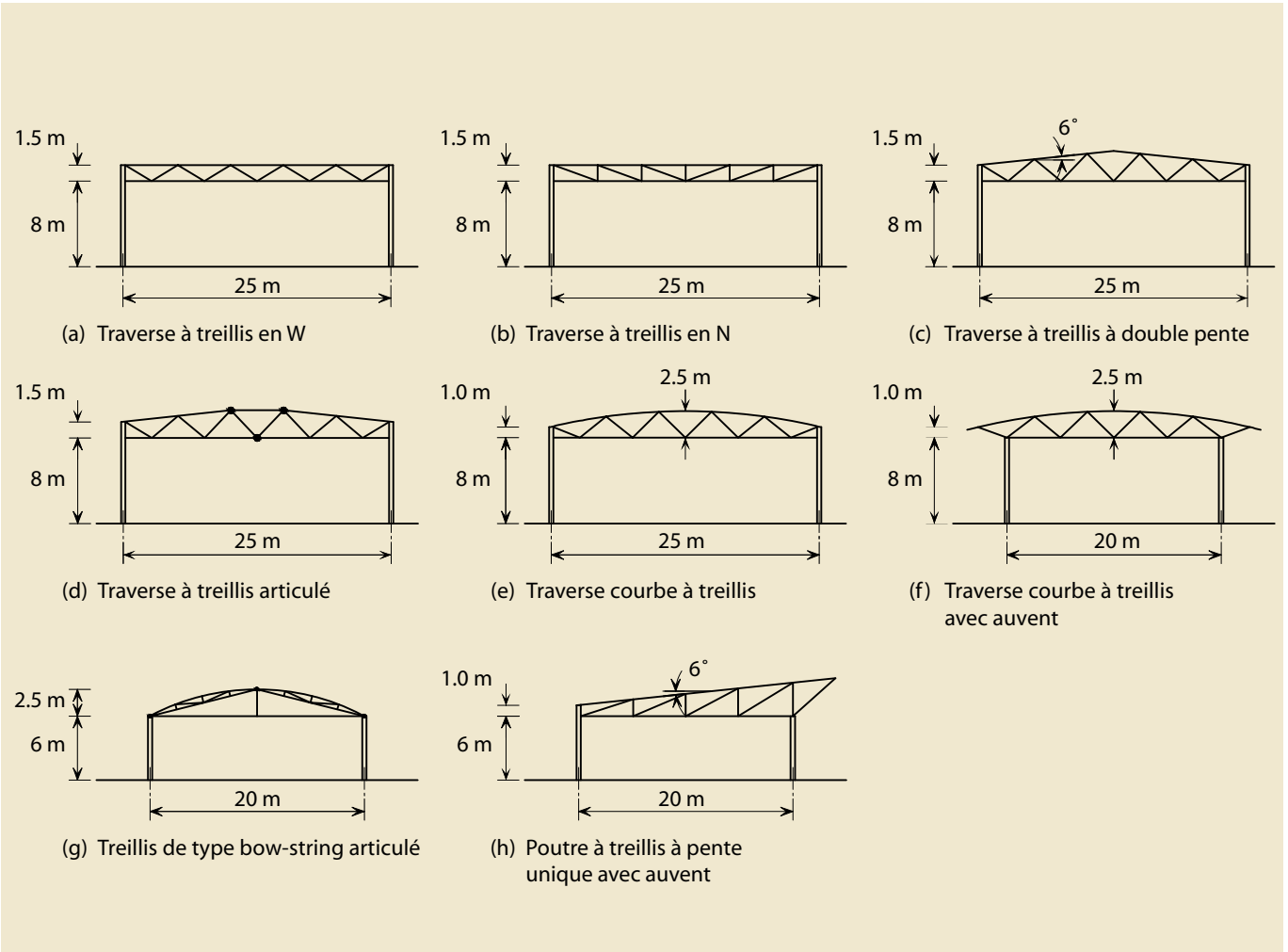


Figure 2.11 (Haut) Différentes formes de fermes à treillis utilisées dans les bâtiments industriels



Figure 2.12 (Gauche) 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.

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.

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 :



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

- 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.

La nouvelle génération de réglementations européennes autorise, outre la réalisation d'essais au feu, trois niveaux de calculs pour le dimensionnement au feu :

Niveau 1 : Classification des éléments structuraux au moyen de tables.

Niveau 2 : Méthodes de calcul simplifiées.

Niveau 3 : Méthodes de calcul complexes.

Physique du Bâtiment

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.

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.

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

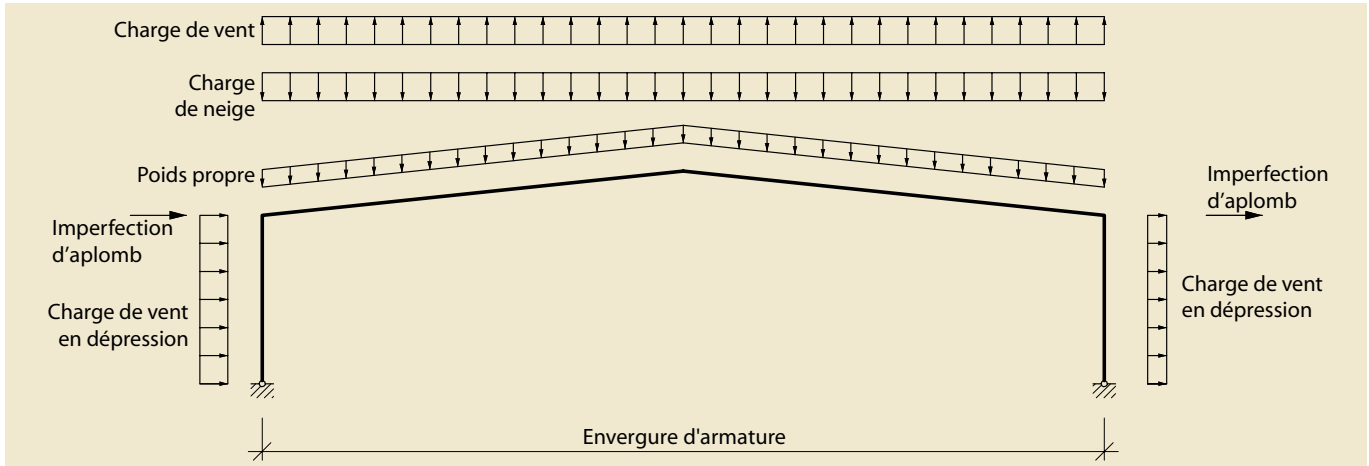


Figure 2.15 (Haut) Schéma de charge d'un portique

Action	Appliquée à
Poids propre	Revêtement, pannes, ossatures, fondations
Neige	Revêtement, pannes, ossatures, fondations
Neige concentrée	Revêtement, pannes, (ossatures), fondations
Vent	Revêtement, pannes, ossatures, fondations
Vent (augmentation sur un élément isolé)	Revêtement, pannes, accessoires
Vent (dépression maximale)	Revêtement, pannes, (accessoires)
Actions thermiques	Enveloppe, structure dans son ensemble
Charges de service	Dépend des spécifications : toit, pannes, ossatures
Charges de levage	Chemins de roulement, ossature
Charges dynamiques	Structure globale (Dépend de l'utilisation et de l'emplacement du bâtiment)
Effets du second ordre (Défauts d'aplomb)	Contreventements muraux, poteaux

Table 2.1 Actions et composants structuraux concernés

Matériau	Poids (kN/m ²)
Tôles profilées de toit en acier (simple peau)	0.07 - 0.20
Tôles profilées de toit en aluminium (simple peau)	0.04
Isolation (panneaux, par 25 mm d'épaisseur)	0.07
Isolation (fibre de verre, par 100 mm d'épaisseur)	0.01
Doublages (0,4 mm – 0,7 mm d'épaisseur)	0.04 - 0.07
Panneaux mixtes (40 mm – 100 mm d'épaisseur)	0.10 - 0.15
Pannes (réparties sur l'aire de toit)	0.03
Tôles profilées de plancher en acier	0.20
Trois épaisseurs de feutre avec gravillons	0.29
Ardoises	0.40 / 0.50
Tuiles (terre cuite ou béton)	0.60 - 0.80
Tuiles (béton, à emboîtement)	0.50 - 0.80
Liteaux en bois (y compris les chevrons en bois)	0.10

Table 2.2 Poids surfaciques types de matériaux de couverture

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.

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.

Charges Verticales

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 pré-dimensionnement 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.

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.

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 à prendre en compte que pour les pentes supérieures à 15° et ne s'applique donc pas à la plupart des bâtiments industriels.

Charges Horizontales

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.

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

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

Table 2.3 Facteurs de dimensionnement importants pour les bâtiments industriels

imperfections doit normalement être pris en compte dans l'analyse structurale au moyen d'une imperfection équivalente sous forme de :

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

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.

Considérations Relatives à la Conception

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.

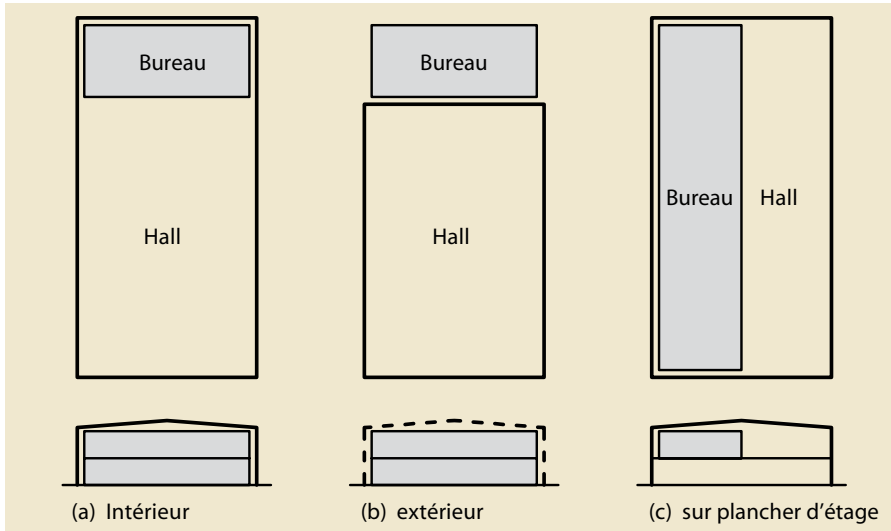


Figure 2.16 Possibilités d'emplacement d'un bureau associé à un bâtiment industriel

- 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.

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.

Compartmentage 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 :

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.

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.

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.

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.

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.

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.

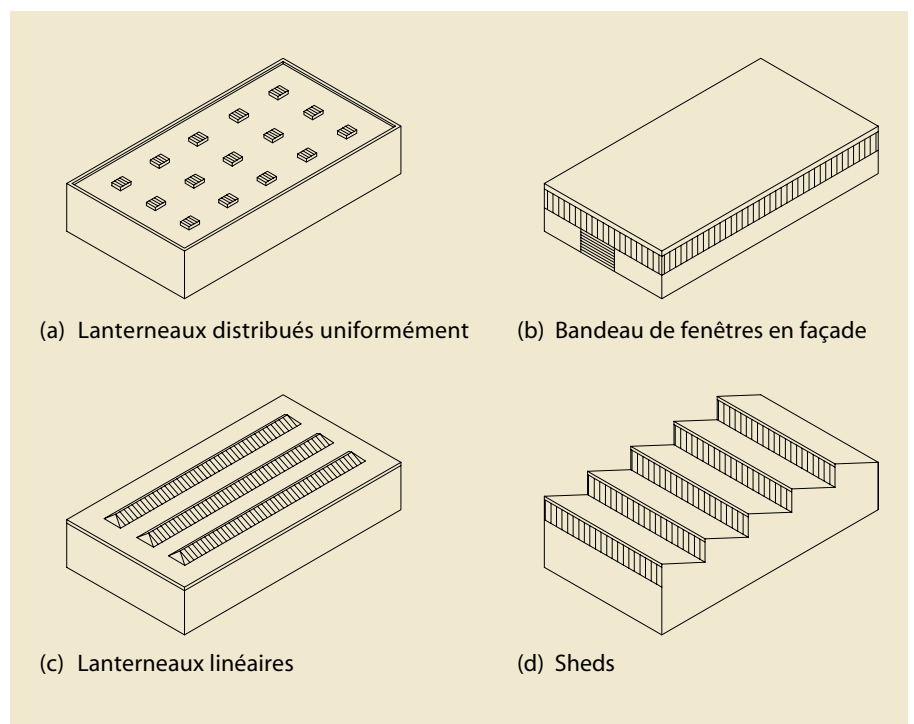
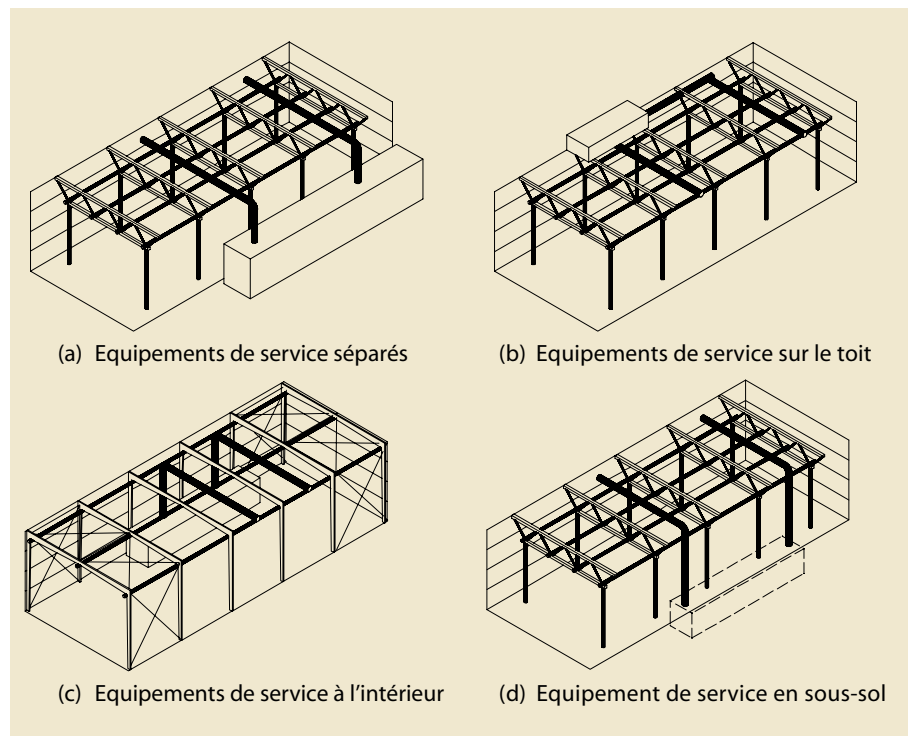


Figure 2.17 (Droite) Possibilités de dispositions des locaux techniques et des chemins de canalisations techniques

Figure 2.18 (Bas, droite) Exemples de méthodes utilisées pour assurer un éclairage naturel dans les bâtiments industriels

03 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.

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).

Portal frame structures

Structures poteaux-poutres

Contreventements et composants secondaires

Assemblages

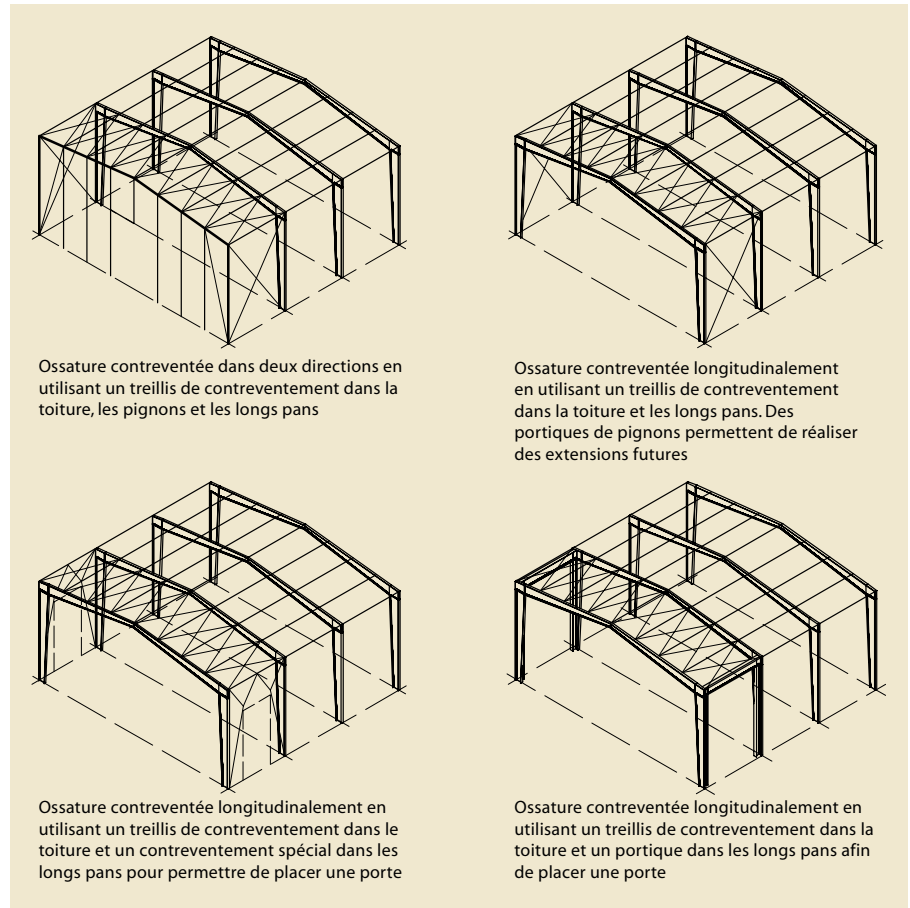


Figure 3.1 Exemples de contreventement hors du plan d'un portique

Types de portiques en acier

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.

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.

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.

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.

Figure 3.5 Portique avec un corbeau sur les poteaux

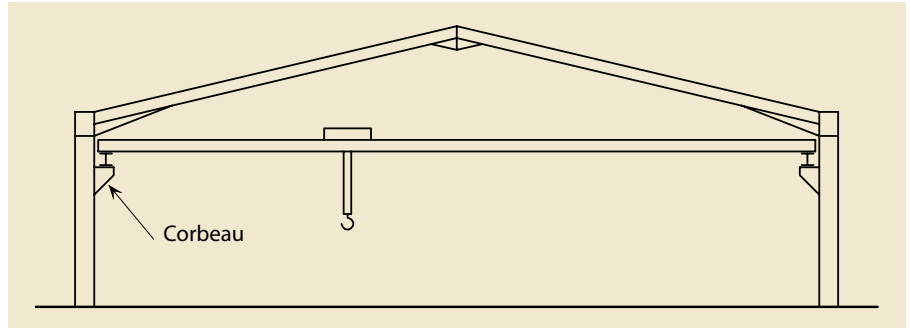
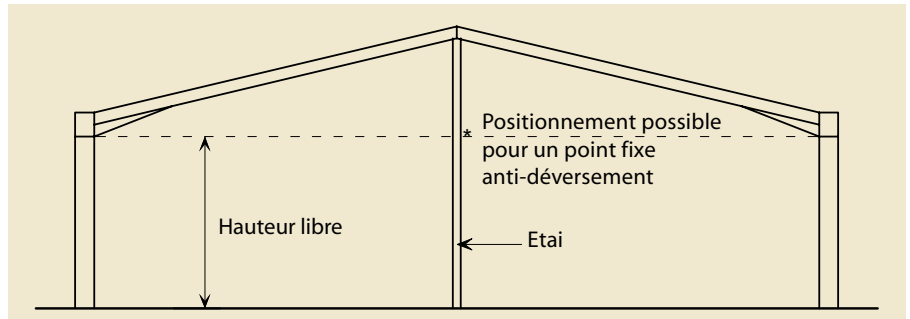


Figure 3.6 Portique étayé



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.

Portique étayé

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 étayé (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 étayé à travée unique", mais il agit de fait comme un portique à deux travées.

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.

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.

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.

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.

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

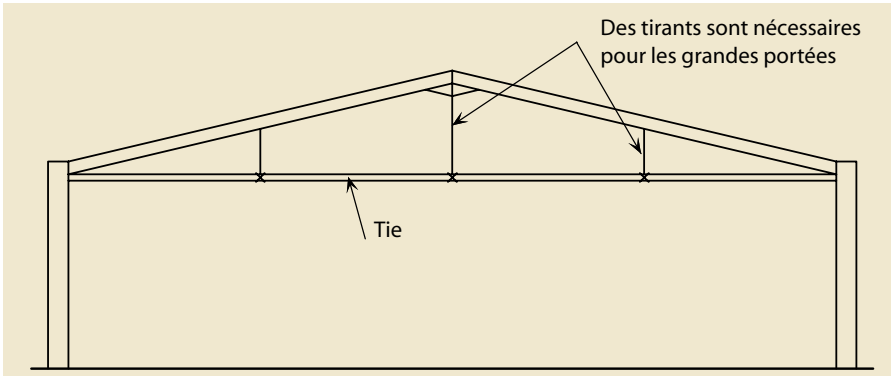


Figure 3.7 Portique à tirants

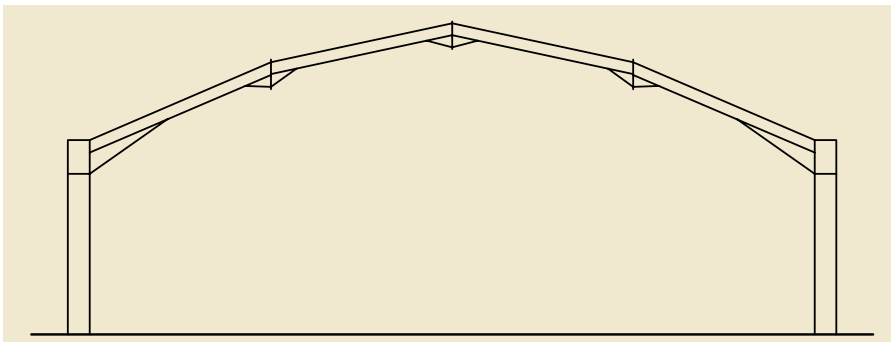


Figure 3.8 Portique Mansard

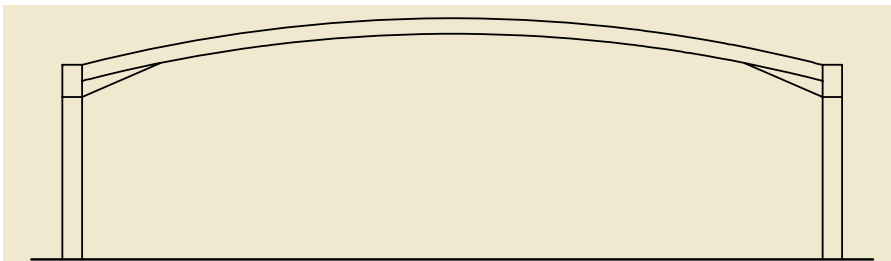


Figure 3.9 Portique avec traverse cintrée

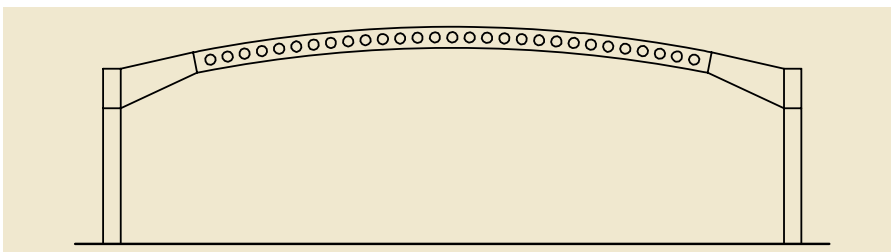


Figure 3.10 Poutre cellulaire utilisée dans un portique

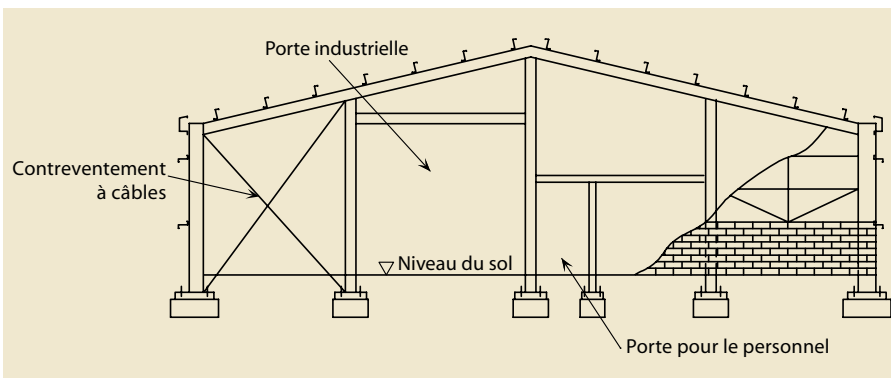


Figure 3.11 Pignons d'extrémité dans une structure à portiques

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

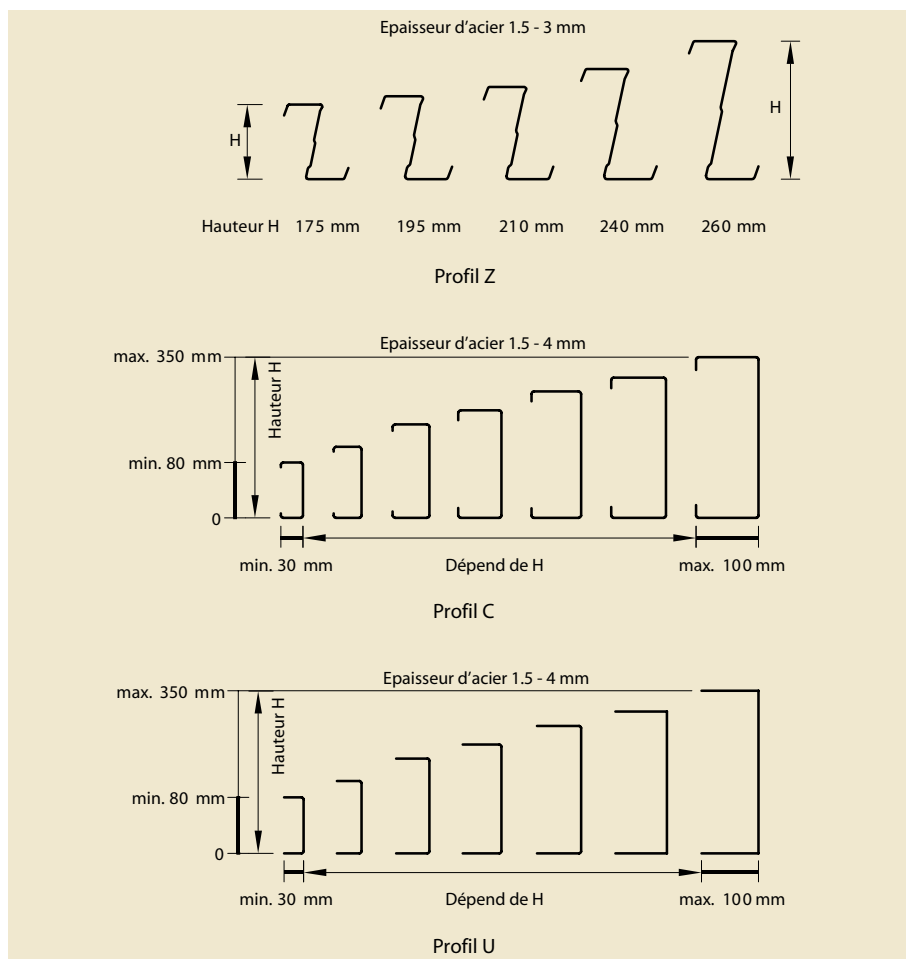


Figure 3.12 Profilés formés à froid habituellement utilisés pour les pannes

caractéristiques architecturales de cette forme de construction.

Portiques de pignon

Les portiques de façades de pignon sont situés aux extrémités du bâtiment et peuvent consister en poteaux et traverses simplement appuyées, plutôt que d'être 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.

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.

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.

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 oeuvre pendant la phase de montage par l'utilisation de contreventements provisoires.

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

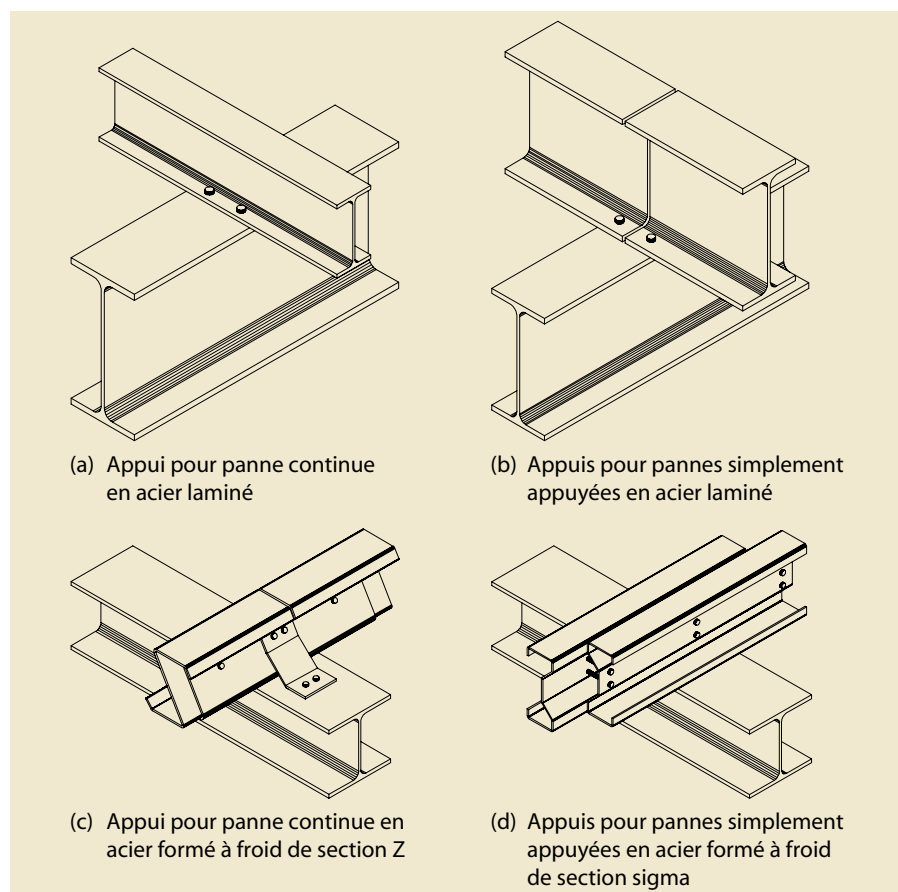
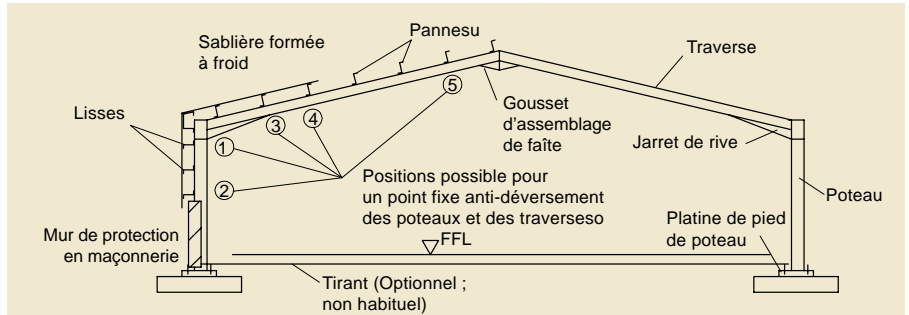
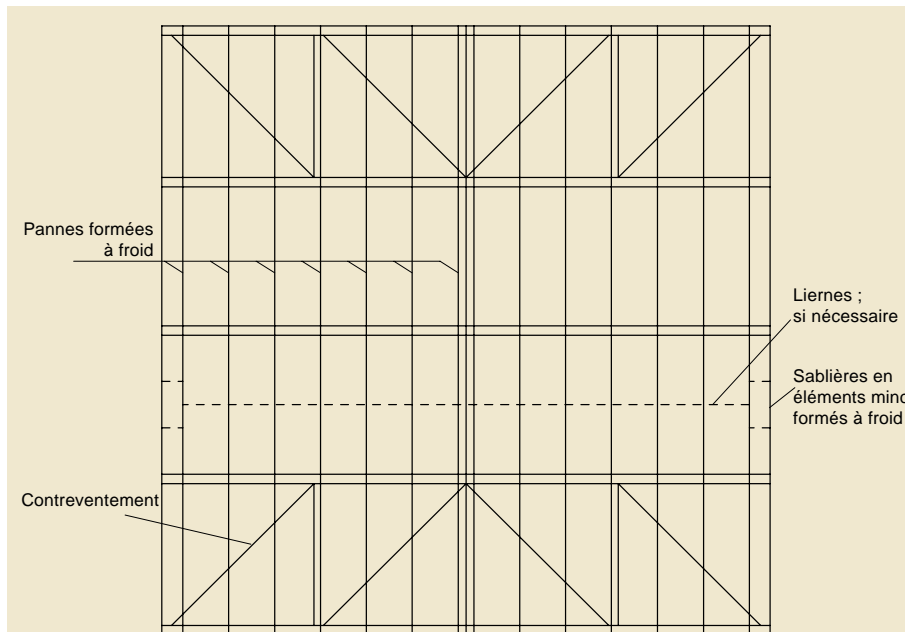


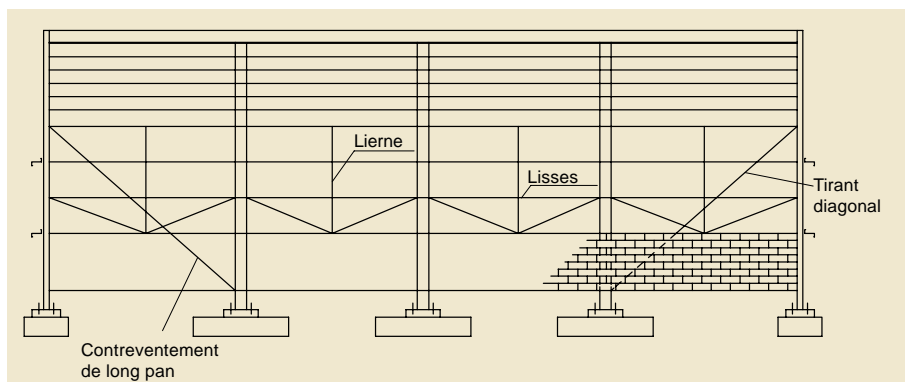
Figure 3.13 Solutions possibles pour les assemblages pannes-traverses



(a) Coupe montrant le portique et ses points fixes



(b) Vue en plan de l'ossature de toiture



(c) Vue en élévation

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

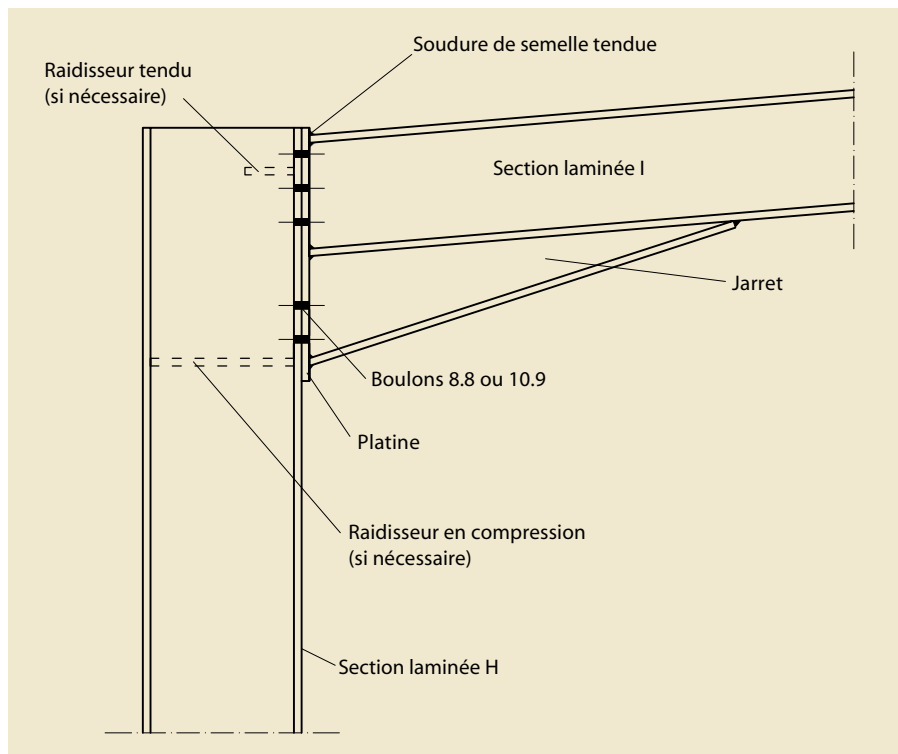


Figure 3.15 Assemblages poteaux-poutres typiques dans un portique

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.

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.

Pannes

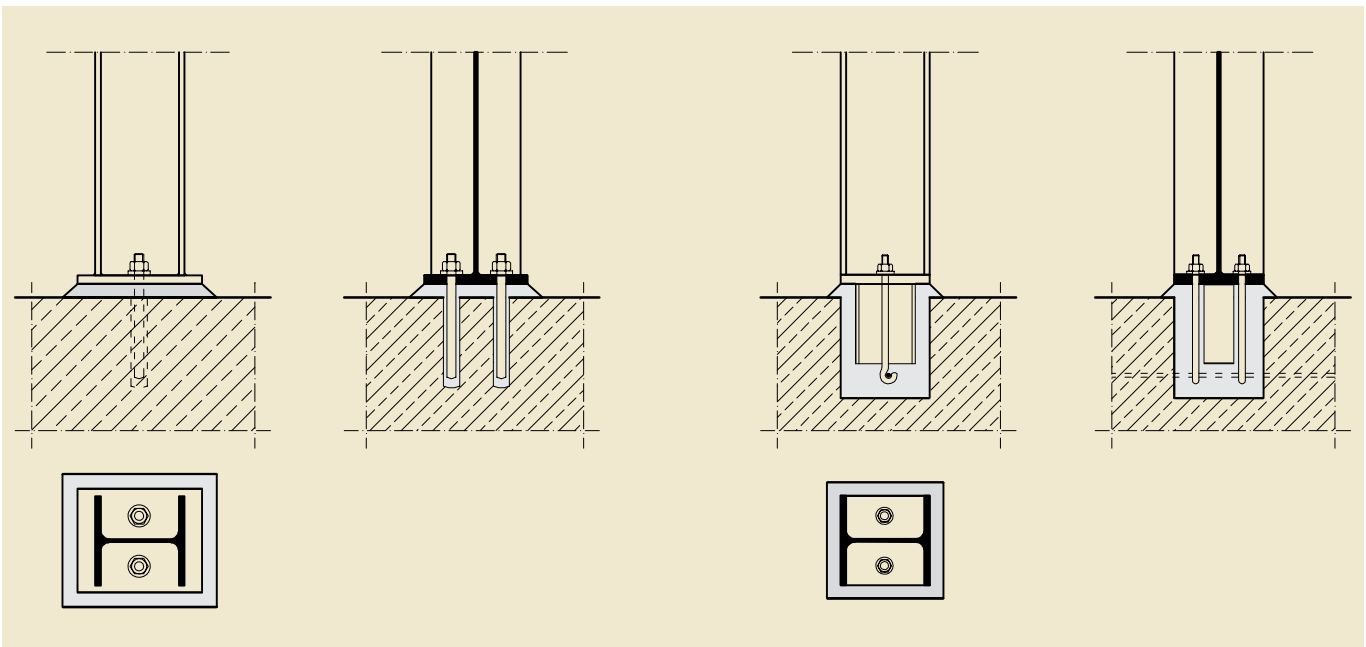
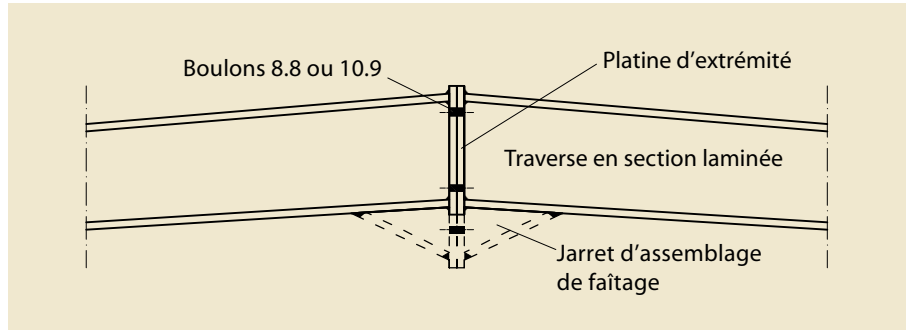
Les pannes transmettent les efforts entre le revêtement de couverture et les éléments structuraux principaux, c'est-à-dire les traverses. En outre, elles peuvent agir comme éléments comprimés en tant que partie du système de contreventement et participent à la stabilisation vis-à-vis du déversement de 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.

Figure 3.16 (Droite) Assemblages de faîtage typiques dans un portique

Figure 3.17 (Bas) Exemples typiques de pieds de poteaux articulés dans un portique



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 faîtage 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 faîtage 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.

04 Systemes 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.

Systemes 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.

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).

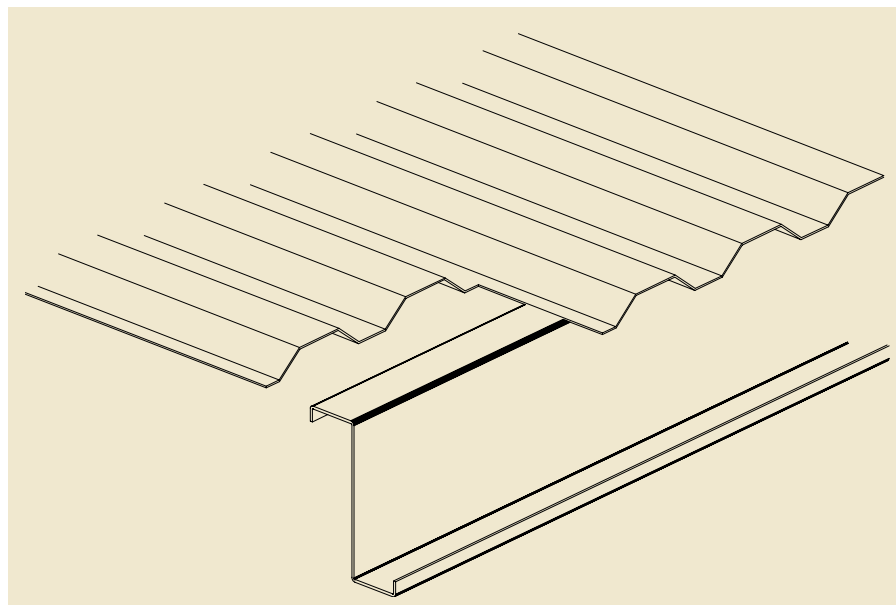


Figure 4.1 Tôles à profil trapézoïdal pour simple peau

Systemes de toits

Systemes de murs et façades

Systeme 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.

Tôles profilées à joints sertis et entretoises clipsées

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 oeuvre rapide. Les fixations sont réalisées avec des clips qui maintiennent les tôles en

Figure 4.2 (Haut droite) Toiture à double peau faisant appel à des écarteurs en plastique et des entretoises en Z

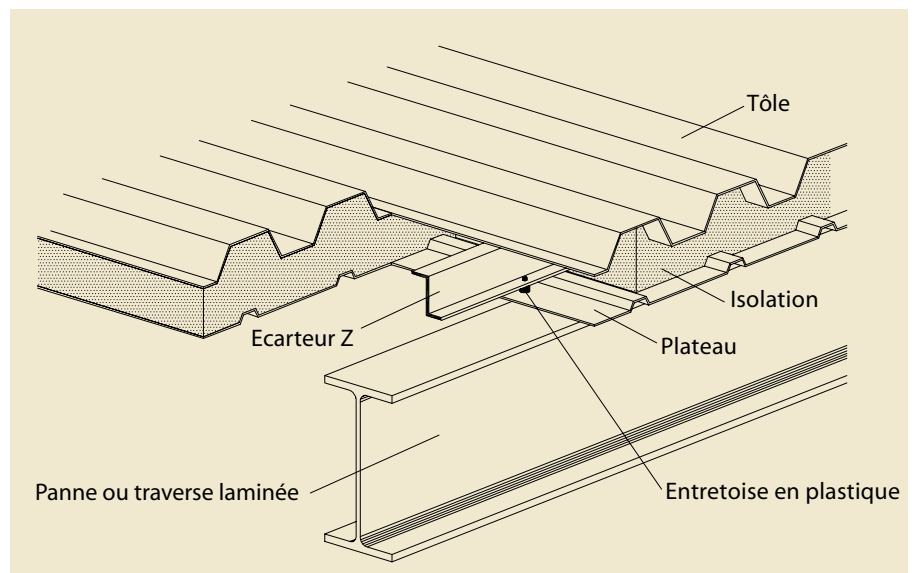
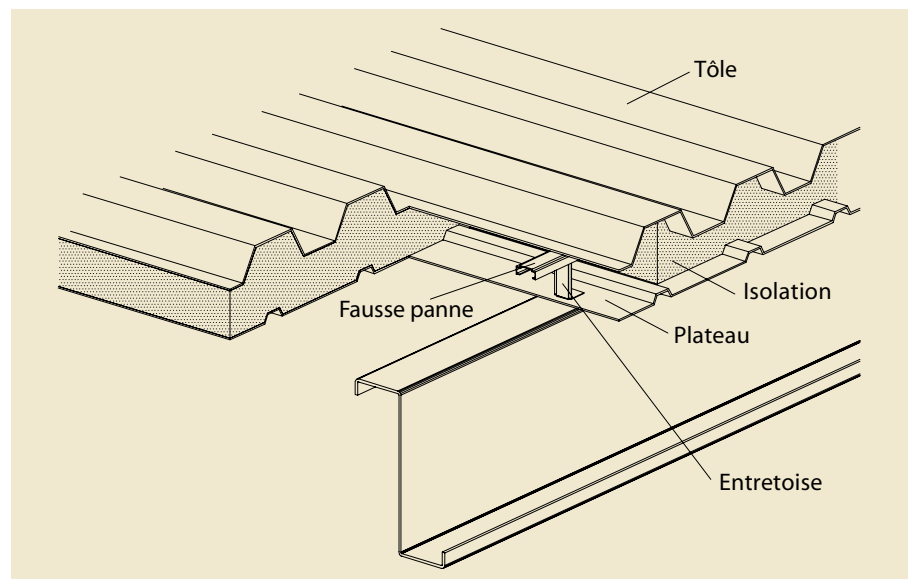


Figure 4.3 (Bas droite) Toiture à double peau faisant appel à des entretoises à "Fausse-panne et équerres"



place, mais qui autorisent un mouvement longitudinal (voir Figure 4.4). L'inconvénient est qu'elles assurent une stabilisation des pannes notablement plus faible qu'avec un système à fixations traditionnelles. Néanmoins, un plateau de doublage correctement fixé assure aux pannes une stabilité appropriée.

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 de stabilité différents aux pannes.

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 galvanisé 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,

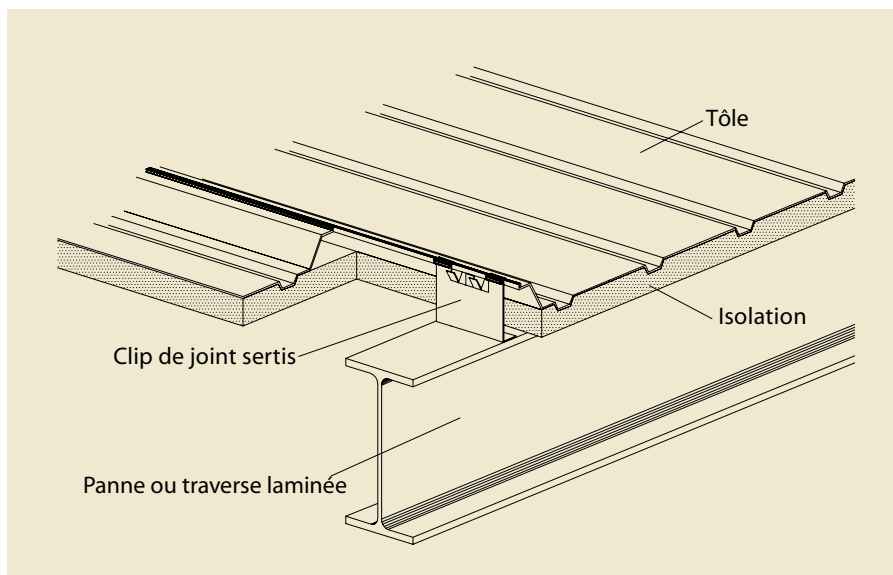


Figure 4.4 (Haut gauche) Panneaux à joints sertis avec plateaux de doublage

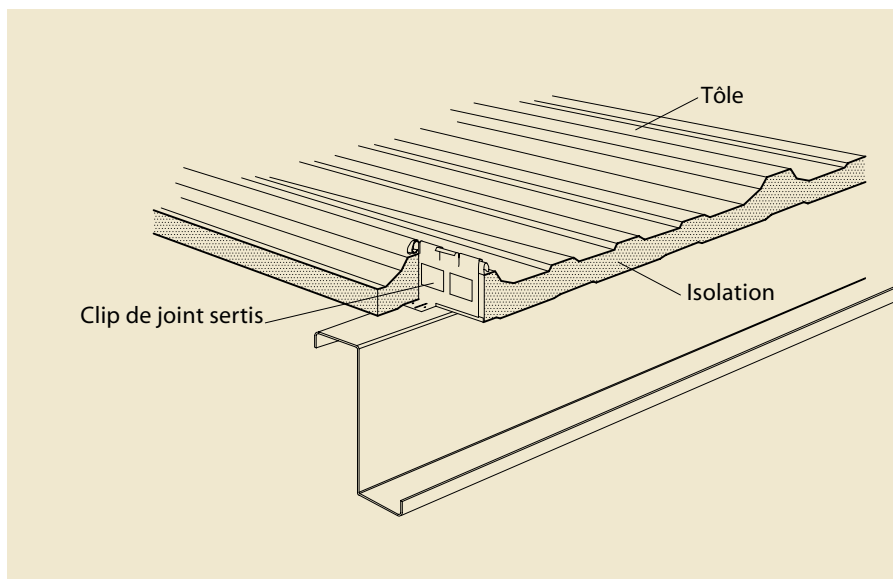
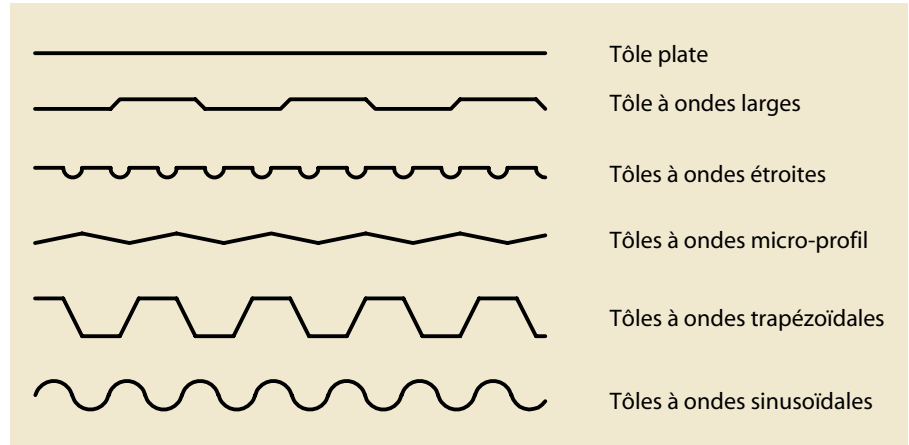


Figure 4.5 (Bas gauche) Panneaux sandwich avec clips de fixation

Figure 4.6 Types de profilage 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 :

- Mousse polyuréthane rigide ;
- Matériau isolant minéral/en fibre ;
- Polystyrène (utilisé exceptionnellement en raison de son faible pouvoir isolant).

Les tôles et mousses sont des matériaux physiologiquement neutres à la fois lors

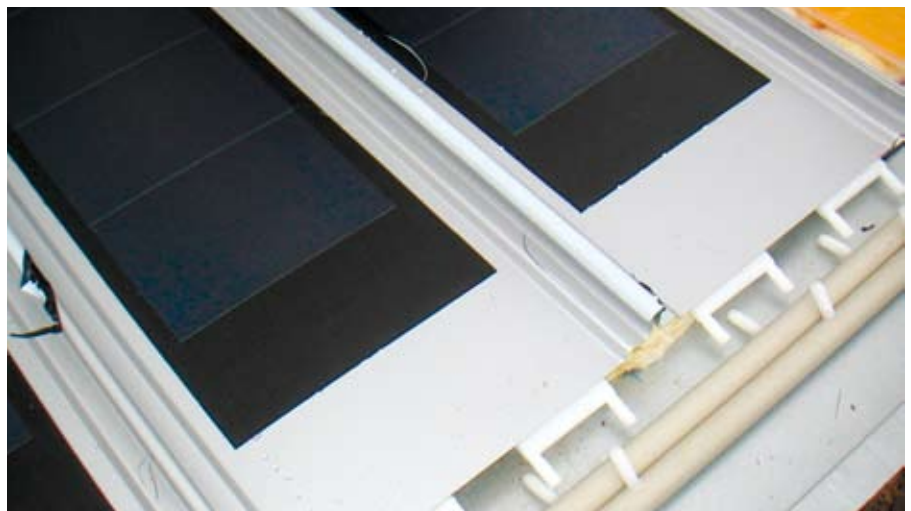
de la production, de l'assemblage et en usage permanent dans le bâtiment.

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 à simplement appuyés, ceci provoque une flexion du panneau. Même si ce phénomène ne génère aucune sollicitation

Figure 4.7 Panneaux solaires et refroidissement par eau.
Source : Corus



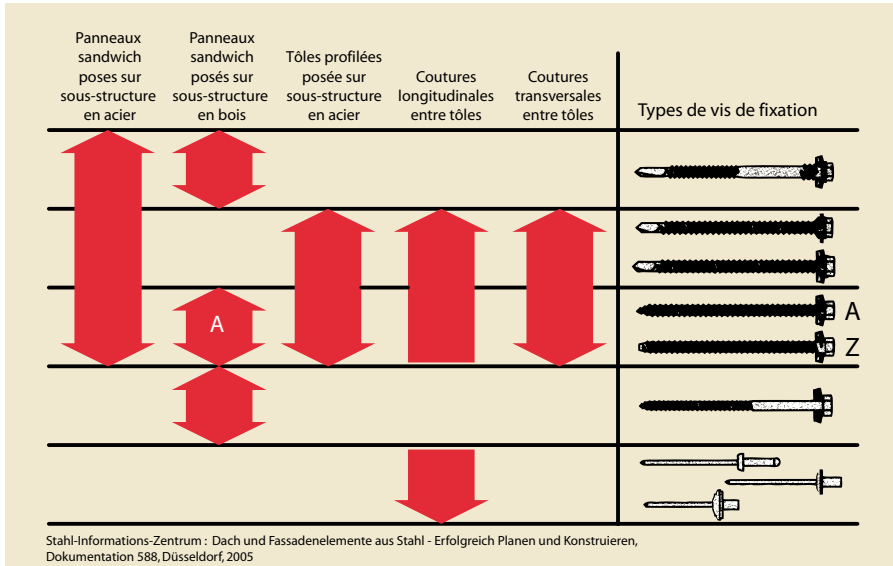


Figure 4.8 *Domaine d'application des éléments de fixation pour divers revêtements*

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.

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 membrane comportant des cellules photovoltaïques afin de

produire de l'énergie. Il existe sur le marché des produits économiques et faciles à mettre en œuvre.

Un autre système de toiture en acier a été développé comportant un système de canalisations d'eau intégré destiné à récupérer et utiliser le rayonnement solaire pour produire de l'eau chaude (collecteur thermique solaire).

Éléments de fixation

Les techniques de fixation comprennent les assemblages des tôles sur la structure support et les couturages des tôles entre elles.



Figure 4.9 *Panneaux mixtes positionnés horizontalement*

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 fixé 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

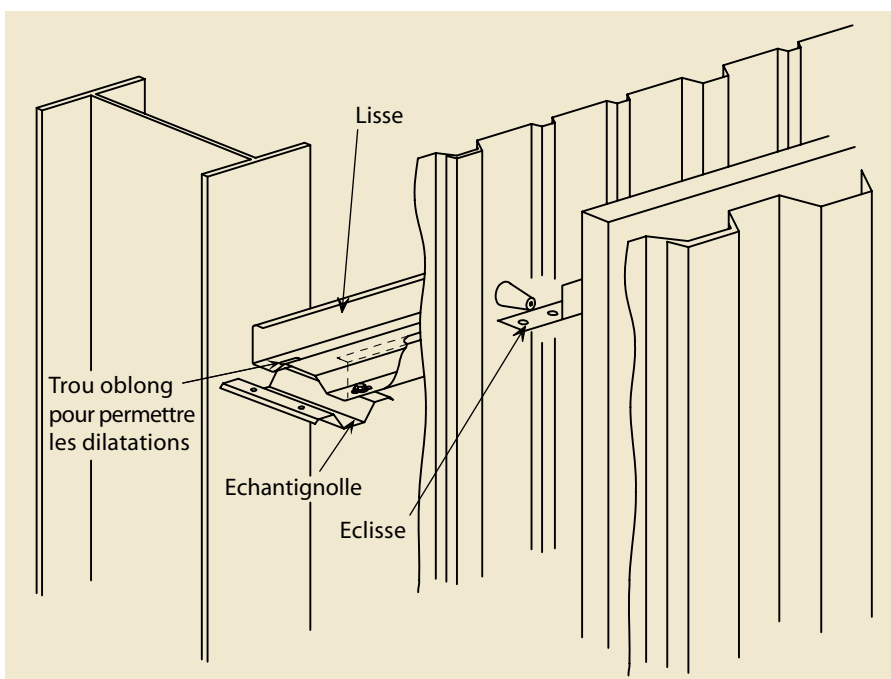
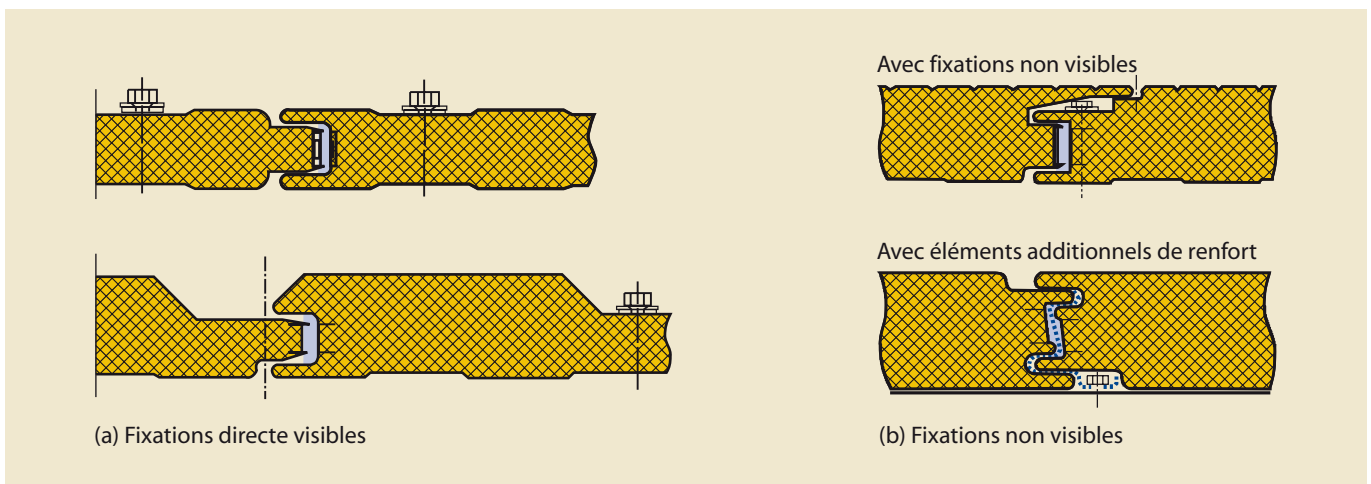


Figure 4.12 (Haut) Exemples de modes de fixation pour façades en panneaux-sandwich. Stahl-Informations-Zentrum : Dach und Fassadenelemente aus Stahl - Erfolgreich Planen und Konstruieren, Dokumentation 588, Düsseldorf, 2005

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

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 solaires. Un exemple de cette technologie est illustré dans la Figure 4.16.

05 Pratique Nationale

Le présent chapitre présente certaines pratiques nationales en vigueur dans plusieurs pays européens. Les systèmes de constructions ont été identifiés comme relevant de bonnes pratiques dans les différents pays concernés, bien qu'ils ne soient pas largement utilisés en Europe.

Allemagne Structure

En Allemagne, les bâtiments industriels sont habituellement construits sous forme de portiques avec des pieds de poteaux articulés. Les portées des portiques varient de 12 m à 30 m lorsqu'ils utilisent des profilés en I reconstitués ou laminés à chaud. Les portées les plus couramment utilisées sont de 15 m et 20 m. Les fermes à treillis constituent une solution typique pour les portées supérieures à 30 m. Des portiques à travées multiples, réalisés avec des profilés en I, sont souvent utilisés pour des portées allant jusqu'à 20 m, sous réserve de la compatibilité dans la gestion de l'espace et de l'utilisation du bâtiment.

Les autres ossatures porteuses, comme les poutres simplement appuyées sur des poteaux, des arcs, les ossatures réticulées, les coques, etc. sont moins souvent utilisées, sauf pour certains bâtiments dont c'est le parti architectural.

Les travées courantes vont de 5 m à 8 m et peuvent atteindre 10 m. La hauteur de rives de l'ossature est d'environ 4.5 m dans les cas courants, allant jusqu'à 8 m et plus si des ponts roulants sont installés.

Les poteaux des portiques sont réalisés à partir de profilés IPE ou HE et sont souvent conçus avec des traverses munies de jarrets dans les zones fortement sollicitées. Des assemblages boulonnés sont la plupart du temps utilisés entre les poteaux et les traverses avec des platines d'extrémité, comme indiqué dans la Figure 3.15. Dans

certain cas, les poteaux sont fabriqués avec le jarret de la traverse et la partie de la traverse de hauteur constante étant alors assemblée sur chantier au moyen d'un assemblage boulonné.

Les tôles profilées sont fréquemment posées entre les traverses et entre les pannes. Environ 40% des pannes sont laminées à chaud et 60% sont formées à froid, la proportion de pannes formées à froid étant en augmentation.

Le dimensionnement est presque exclusivement déterminé en effectuant une analyse élastique des sollicitations, et en comparant les résultats de cette dernière aux résistances élastique ou plastique de la section transversale. La norme de dimensionnement courante est le DIN 18800, Parties 1-5, qui est similaire à la norme européenne EN 1993-1-1.

Couvertures

Les toits des bâtiments industriels sont en général constitués de tôles à profils trapézoïdaux posées directement entre les portiques ou supportées par les pannes.

Actuellement, le toit en tôles profilées isolées simple couche, tel qu'illustré dans la Figure 5.1(a) constitue le type de revêtement de toit le plus utilisé. Pour ce type de revêtement, la pente ne doit normalement pas être inférieure à 2° afin d'assurer une évacuation d'eau suffisante. Ce type de toit est relativement peu coûteux mais il est sensible aux dégradations mécaniques de la couche d'étanchéité.

Allemagne

Pays-Bas

Espagne

Suède

Royaume-Uni

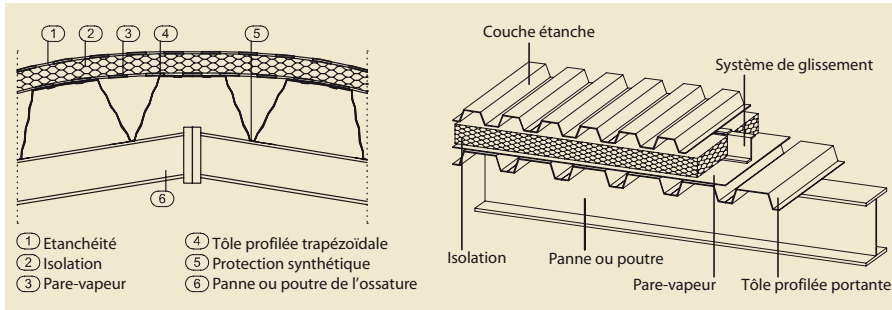


Figure 5.1 Système de couverture courant pour les bâtiments industriels, utilisant des tôles à profil trapézoïdal

La construction avec des panneaux-sandwich, illustré dans la Figure 5.1(b), a pris de l'importance car elle est facile à entretenir et possède une durée de vie utile augmentée. Ses autres avantages sont une meilleure résistance aux dommages, une bonne isolation acoustique et sa résistance au feu. Il arrive souvent que la couche d'étanchéité soit fixée sur la couche porteuse au moyen d'un joint à agrafes équipé d'un système de glissière spécial évitant de percer la couche d'étanchéité.

Murs extérieurs

Selon l'utilisation du bâtiment, les exigences de physiques du bâtiment et les conditions aux limites pour le feu, le choix des types de murs est important.

L'utilisation de systèmes de panneaux-sandwich profilés, légers et de grandes dimensions se développe alors que les exigences de protection incendie se réduisent avec l'apparition de la directive "Muster-Industriebau-Richtlinie". Ces panneaux peuvent être installés rapidement et facilement et ne sont

pas affectés par les conditions météorologiques. Ils offrent également un haut degré d'isolation thermique.

Comportement thermique

La loi sur les économies d'énergie "Energy Saving Act" (ENEV 2002) distingue les bâtiments à "température intérieure normale" et les bâtiments à "température intérieure faible" (inférieure à 19°C) habituellement rencontrés dans le secteur industriel. Pour les bâtiments à faible température intérieure, seules les exigences relatives aux déperditions thermiques au travers de l'enveloppe du bâtiment doivent être satisfaites. L'installation de chauffage n'a pas à être prise en compte. Il y a également moins d'exigences relatives à l'isolation thermique, ce qui permet des épaisseurs de couche isolante plus faibles.

Sécurité incendie

En mars 2000 est entrée en vigueur en Allemagne une nouvelle directive relative à la protection contre le feu des bâtiments industriels prenant en compte les résultats de projets de recherche

récents sur les feux naturels. Associée à la norme DIN 18230, elle régleme la protection incendie dans les bâtiments industriels en termes de durée de résistance au feu des composants structuraux, de dimensions et de disposition des compartiments d'incendie, d'emplacement et de longueur des itinéraires d'évacuation.

Cette directive présente trois méthodes de calcul, de niveau de complexité croissant :

1. Méthode de calcul simplifiée.
2. Méthode de calcul plus précise avec détermination du potentiel calorifique, sur la base de la norme DIN 18230-1.
3. Méthodes de calcul au feu complexes.

Plus la méthode de calcul est simple, plus le résultat est sécuritaire.

En utilisant la méthode de calcul simplifiée n°1, il est possible de dimensionner les bâtiments industriels d'un seul niveau en ne protégeant pas l'acier jusqu'à une surface au sol de 1.800 m² sans aucune installation de

Mesures de lutte contre l'incendie	Aucune exigence	F30
Aucune mesure active de lutte contre l'incendie (K1)	1,800 m ² *	3,000 m ²
Système automatique de détection d'incendie (K2)	2,700 m ² *	4,500 m ²
Système automatique de détection d'incendie et équipe interne de lutte contre l'incendie (K3)	3,200-4,500 m ² *	6,000 m ²
Système automatique d'extinction (K4)	10,000 m ²	10,000 m ²

*Aire des surfaces d'extraction des gaz chauds ≥ 5% et largeur du bâtiment ≤ 40 m

Table 5.1 Dimensions autorisées des compartiments d'incendie pour les bâtiments industriels

mesures actives de lutte contre l'incendie. Si l'on utilise un système de sprinklers automatiques, chaque compartimentage incendie peut atteindre 10.000 m² maximum. En disposant des murs coupe-feu, il est possible d'augmenter la taille du bâtiment en effectuant la somme de tous les compartiments.

Les bâtiments de plein pied utilisés comme magasins de détail sont l'objet d'exigences similaires vis-à-vis de la résistance incendie des éléments structuraux, à condition d'utiliser des sprinklers. La dimension maximale de chaque compartiment est également de 10.000 m².

Une méthode de calcul (méthode n°2) plus précise est basée sur la norme DIN

18230-1. Elle détermine une durée de résistance au feu équivalente. Cette méthode compare la courbe d'échauffement paramétrique prenant en compte les paramètres spécifiques du projet considéré et la courbe de référence ISO. Elle prend en compte des paramètres spécifiques au projet tels que les conditions de ventilation, etc. Au moyen de cette méthode, des compartiment allant jusqu'à 30.000 m² peuvent être dimensionnées en utilisant de l'acier non protégé.

Outre les deux méthodes de calcul simplifiées ci-dessus, il est possible d'utiliser une analyse de résistance incendie. La procédure formule des principes de base en vue de satisfaire la réglementation par des vérifications appropriées.

Pays-Bas

Aux Pays-Bas, pendant de nombreuses années, l'acier a été le matériau le plus couramment utilisé pour les ossatures, de toits et de façades destinés aux bâtiments industriels et agricoles. Les caractéristiques de la construction métallique présentent des avantages pour les bâtiments d'un seul niveau de grandes portées :

- Construction rapide ;
- Réalisation de bâtiments économiques ;
- Légèreté ;
- Systèmes préfabriqués ;
- Composants produits industriellement ;
- Flexibilité d'utilisation ;
- Facilité de démontage ;
- Possibilité de réutilisation à trois niveaux : matériau, éléments et bâtiment.

Figure 5.2 L'utilisation de profilés laminés à chaud est préférée pour la réalisation de portées libres allant jusqu'à 25 m



Figure 5.3 Pour des portées plus longues, les poutres à treillis constituent une autre solution courante



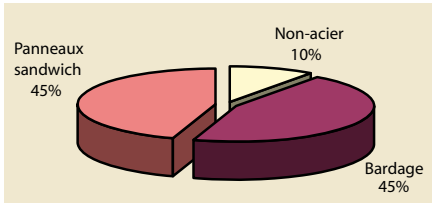


Figure 5.4 Parts de marché des systèmes de façades en acier pour les bâtiments industriels (2006)



Figure 5.5 Tôle en acier laminée à profil trapézoïdal fixée sur des plateaux de doublage



Figure 5.6 Panneaux-sandwich

Figure 5.7 (Droite) La plupart des bâtiments industriels sont des hangars d'un seul niveau, à travée unique, associés à des bureaux. La plupart des bâtiments industriels possèdent des toits plats. Les toits à pentes sont courants dans les bâtiments agricoles (Vignette).

Construction

La grande majorité des bâtiments industriels sont des "hangars" d'un seul niveau et à travée unique. Ces hangars sont parfois combinés avec des bureaux. Les ossatures à travées multiples sont peu nombreuses.

Pour les bâtiments d'un seul niveau avec une portée d'environ 25 m maximum et une hauteur d'environ 6 m maximum, les portiques à pieds de poteaux encastrés et assemblages continus sont la solution préférée (Figure 5.2).

Pour les bâtiments d'un seul niveau d'une hauteur supérieure à 6 m, une ossature en acier comportant des assemblages articulés et un contreventement est plus économique. Dans ce cas, les assemblages sont plus complexes, mais le matériau est utilisé plus efficacement.

Un type de bâtiment industriel courant est composé de portiques en profilés laminés. Les poteaux sont des HEA180 et les traverses sont des IPE500 espacées de 5,4 m. Pour le toit, on utilise habituellement des profilés formés à froid d'une hauteur habituelle de 106 mm. Les éléments de murs sont habituellement des plateaux de 90 mm de hauteur avec des bardages fixés à l'extérieur.



Pour les bâtiments d'un seul niveau de portées supérieures à 25 m, l'on utilise de préférence des poutres à treillis (Figure 5.3). Les poutres alvéolaires et les poutres cellulaires sont en train de remplacer les profilés à âme pleine.

Des constructions suspendues et à haubans peuvent s'avérer économiques pour les très longues portées et pour suspendre des installations lourdes.

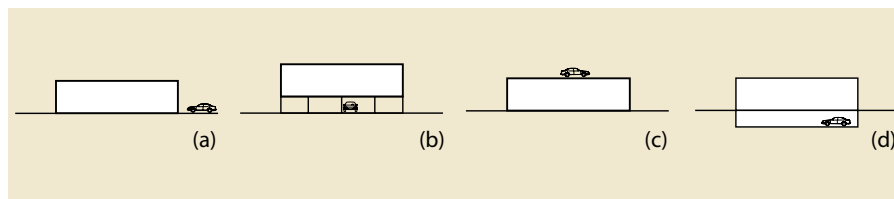
Façades

Au cours de l'année 2007, Bouwen met Staal a effectué une étude de marché concernant l'utilisation d'éléments de toit et de façade pour les bâtiments industriels aux Pays-Bas. Cette étude a démontré que les revêtements en acier représentent une part de marché d'environ 90%. Les 10% restants sont des murs de protection en maçonnerie disposés sous les appuis de fenêtre.

La moitié environ des façades en acier des bâtiments industriels est réalisée en tôles à profils trapézoïdaux fixées sur des



Figure 5.8 (a) Parking attenant au bâtiment,
(b) Sous le bâtiment,
(c) Sur le bâtiment,
(d) En sous-sol



plateaux de doublage. L'autre moitié sont les panneaux-sandwich en acier. Avec des productions respectives de 2 et 1,5 millions de m² par an, ces deux systèmes de façade représentent, avec la brique, les produits les plus couramment utilisés pour les façades extérieurs.

Toits

A la différence des autres pays d'Europe, la grande majorité des bâtiments industriels possèdent des toits plats. Les toits à pentes sont très rares dans les bâtiments d'un seul niveau, si l'on excepte les granges et les étables dans le secteur agricole.

Environ 80% des toits des bâtiments industriels sont constitués de tôles profilées laminées fixées directement sur les poutres de toit ou sur des poutres intermédiaires. Environ 15% sont des éléments sandwich et 5% font appel à des matériaux autres que l'acier.

Formation de mares sur les toits plats

Il est intéressant d'examiner la formation de grandes mares d'eau sur les toits

plats. Un même jour de 2002, six toits se sont effondrés sous l'effet d'une pluie abondante. En réponse à ces problèmes, le Ministère du Logement, de la Planification et de l'Environnement a constitué une équipe de recherche. Un des résultats de ces recherches est le guide pratique NPR 6773, publié comme amendement au document NEN 6702 : Conception techniques de bâtiments, charges et déformations. Cette méthode de calcul, plus simple et plus sécuritaire, combinée à un suivi et un contrôle plus précis, a permis une baisse significative de la pathologie des toits plats.

Protection incendie

La raison principale de l'importance de la part de marché prise par les produits en acier dans les bâtiments industriels est l'exigence concernant la résistance incendie. Ces exigences sont relativement faibles comparées aux autres pays européens.

Pour les bâtiments d'un seul niveau et la plupart des bâtiments industriels comportant une petite zone de bureaux,

il n'existe aucune exigence concernant la résistance incendie au stade de la construction. Dans certains cas, une résistance de 30 ou 60 minutes est requise pour les itinéraires d'évacuation, pour les compartiments de protection incendie ou pour la prévention de la propagation du feu vers les espaces et bâtiments adjacents. Ces exigences sont habituellement satisfaites au moyen de mesures simples de protection incendie.

Parkings

Actuellement, environ 70.000 hectares de terrains sont utilisés comme zone de développement industriel. Ceci représente approximativement 2% de la surface totale des Pays-Bas. Le gouvernement néerlandais tente d'enrayer l'augmentation rapide de l'occupation industrielle. De plus en plus, les bâtiments industriels et commerciaux situés dans ces districts sont rénovés, et les utilisateurs sont encouragés à trouver une solution de stationnement à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment afin de soulager la pression exercée sur le domaine public (Figure 5.8).



Figure 5.9 Portiques isolés à traverses et poteaux de section décroissante

Figure 5.10 Structure intérieure d'un bâtiment industriel avec poteaux de section décroissante



Table 5.2 (Bas) Règles concernant le dimensionnement des bâtiments industriels en Espagne

Code	Contenu
EAE	Norme espagnole pour les constructions sismiques (Norma de Construcción Sismoresistente)
CTE	Code Technique de Construction Espagnol (Código Técnico de la Edificación) : DB-SE-AE - Document de base. Sécurité des structures.
EN 1993-1-1	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.
EN 1993-1-3	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-3 : Règles supplémentaires pour profilés et plaques formés à froid.
RSCIEI	Réglementation espagnole pour la sécurité incendie dans les bâtiments industriels (RSCIEI - Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales). Il s'agit de la réglementation qui établit les exigences auxquelles doivent se soumettre les bâtiments industriels pour obtenir un degré de sécurité incendie suffisant.

Energie

En 2012, tous les nouveaux bâtiments industriels devront présenter un "bilan énergétique neutre". Ceci signifie que la consommation d'énergie doit être au plus égale ou inférieure à l'énergie produite. Un hangar expérimental "à énergie zéro" a été construit dans la ville de Zaandam, avec des résultats prometteurs. Potentiellement cette technologie est utilisable plus largement.

Pratique courante en Espagne

Structure

En Espagne, la majorité des composants des bâtiments industriels sont préfabriqués en usine et sont montés

rapidement sur le chantier. Cela comprend : les systèmes de structures, de couverture et façades. Les systèmes préfabriqués sont livrés sur chantier prêts à être assemblés. Le processus est complet est rapide, efficace et économique. Les éléments structuraux de nombreux bâtiments industriels construits peuvent être classifiés de la façon suivante :

- Profilés en I reconstitués (PRS) pour la structure principale des portiques (traverses et poteaux à section variable d'une hauteur de 750 mm à 1280 mm, habituellement fabriqués en acier de nuance S275 JR).
- Profilés en 'Z' et 'C' formés à froid pour les éléments structuraux secondaires

(pannes de toits, lisses, etc.).

- Systèmes de toitures et de façades conformes aux nouvelles réglementations de sécurité incendie.

En général, les traverses à section variable ont des portées de 25-50 m mais il est possible de dimensionner des portées de 60-70 m sans appuis intermédiaires. Par ailleurs, l'espacement typique entre les portiques est 9-10 m, et les poteaux ont une hauteur de 7-12 m.

Les sous-systèmes complémentaires comprennent les mezzanines, les chemins de roulement, les ponts roulants, les plateformes de toit, les verrières, les parapets, et tous les



Figure 5.11 (Haut) Aspect extérieur d'un bâtiment industriel en Espagne

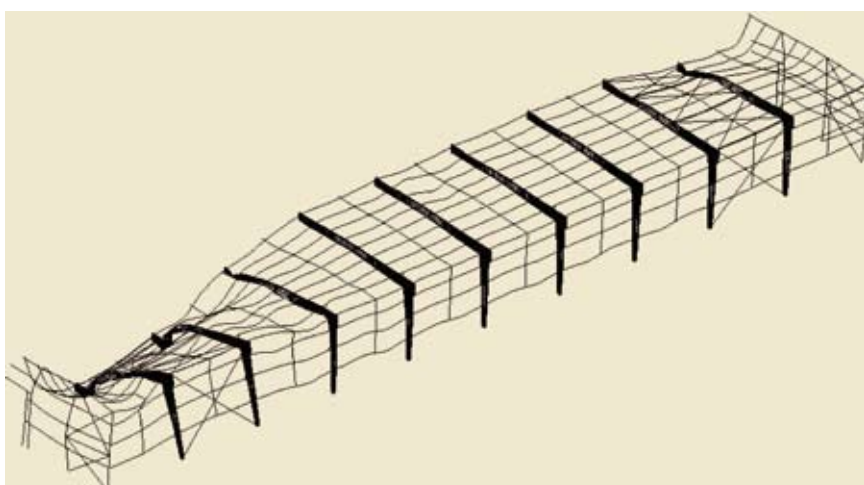


Figure 5.12 Modèle grandeur réelle soumis au feu et montrant le mécanisme de ruine

accessoires nécessaires pour réaliser un bâtiment complet et fonctionnel.

Les fondations sont réduites de façon significative par rapport aux volumes réalisés grâce au système de travées libres, aux grandes portées et à la réduction du poids de la structure.

Les bâtiments industriels en acier utilisent une gamme de matériaux qui satisfont un grand nombre d'exigences structurales. Cette flexibilité permet une variété illimitée d'applications et de configurations de bâtiments.

Avantages structurels

Ce système offre de nombreux avantages par rapport à la construction traditionnelle. Des méthodes de calcul et de fabrication perfectionnées concourent à maîtriser les coûts grâce à une construction plus rapide et à la réduction des coûts de main-d'œuvre sur le chantier.

Les systèmes de portiques, de façades, de toits et d'accessoires compatibles, ainsi que les matériaux de construction, présentent les avantages suivants :

- L'utilisation d'éléments principaux de structure du type reconstitués à

section décroissante (poteaux et traverses) permet une réduction de 40% du poids des ossatures principales rigides par rapport à l'utilisation de profilés laminés à chaud conventionnels.

- L'utilisation d'éléments structuraux secondaires à profil en 'Z' (pannes de toit et lisses latérales), en particulier des pannes 'Z' en continuité sur les traverses, permet une économie de poids pouvant aller jusqu'à 25% pour les éléments secondaires.
- En général, tous les éléments sont produits en usine sur des chaînes

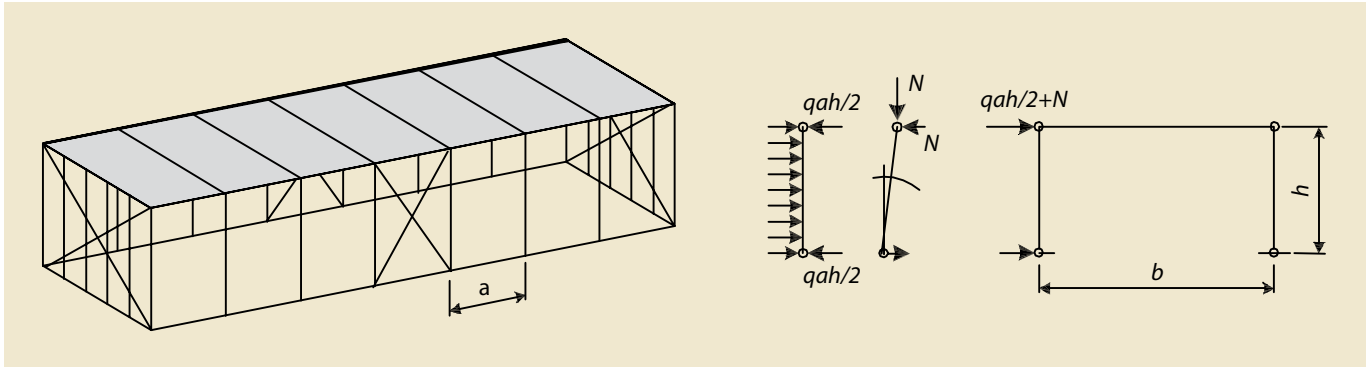


Figure 5.13 (Haut) Bâtiment industriel stabilisé par un contreventement dans les murs et effet diaphragme des tôles à profil trapézoïdal dans le toit. Höglund, T. : Stabilisation par action de diaphragme à peau tendue, Publication 174, SBI, Stockholm, 2002

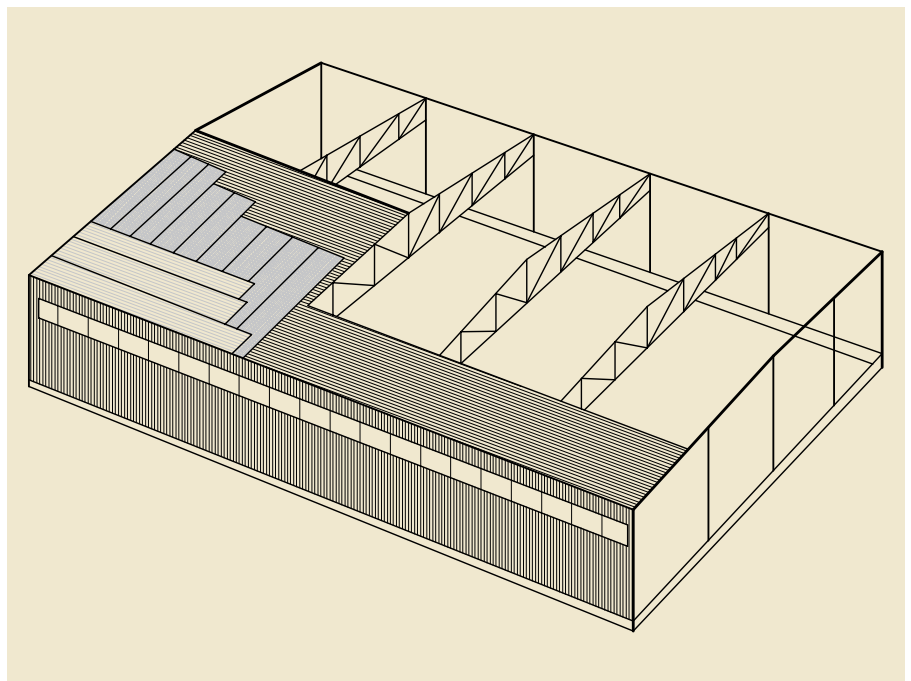


Figure 5.14 Bâtiment industriel léger isolé thermiquement. SBI, Stålbbyggnad, Publication 130, SBI, Stockholm

automatisées, ce qui évite de nombreux problèmes d'installation.

- Réduction des chutes d'acier de fabrication des éléments reconstitués et des profilés en 'Z' formés à froid.
- La totalité de l'acier est utilisé efficacement pour la construction.

En conséquence, les entreprises publiques et privées, les entrepreneurs et les concepteurs, profitent des économies et du gain de temps de construction.

Réglementation

Les principales règles concernant le dimensionnement des bâtiments industriels en Espagne sont données dans le Tableau 5.2

Calcul au feu

La Réglementation de Sécurité Incendie pour les bâtiments industriels (RSCIEI) exige une évaluation de la résistance incendie du bâtiment réalisée en fonction des potentiels calorifiques, des dimensions des compartimentations et des bâtiments avoisinants.

Bien qu'il soit possible de satisfaire les exigences au moyen de systèmes de protection contre le feu comme les peintures intumescentes ou les produits de protection projetés, le Calcul au Feu permet une approche plus compétitive et plus sûre. La Figure 5.12 donne un exemple de modèle structural montrant un effondrement dans des conditions d'incendie.

Remerciements

Nous remercions la Sté PRADO TRANSFOR-MADOS METÁLICOS S.A. située au nord de Vizcaya, Espagne (www.pradotm.com). Les images ont été fournies par la Sté PRADO.

Pratique courante en Suède

Bâtiment industriel suédois typique

En Suède, les bâtiments à plateau libres, comme les bâtiments industriels, constituent un marché très important pour l'acier (SBI 2004). Les bâtiments légers ont des portées de 15 à 25 m et des hauteurs de 5 à 8 m. Des surfaces au sol de 1500 à 2000 m² sont courantes.

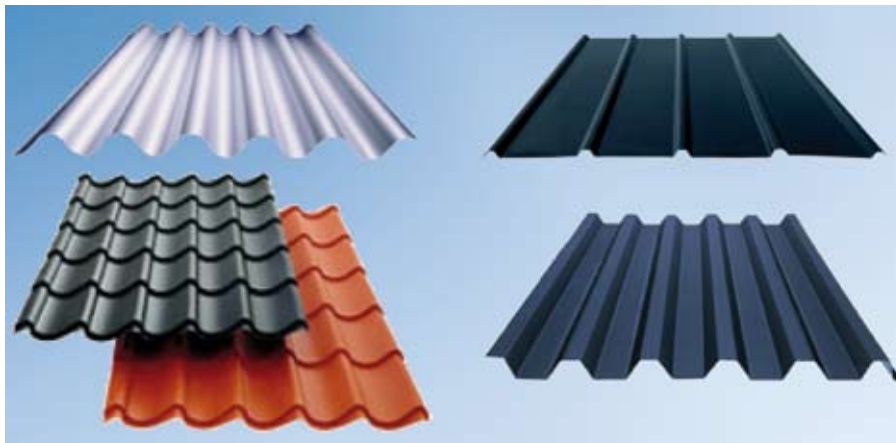


Figure 5.15 Exemples de différents produits existant sur le marché suédois pour les toits et les façades

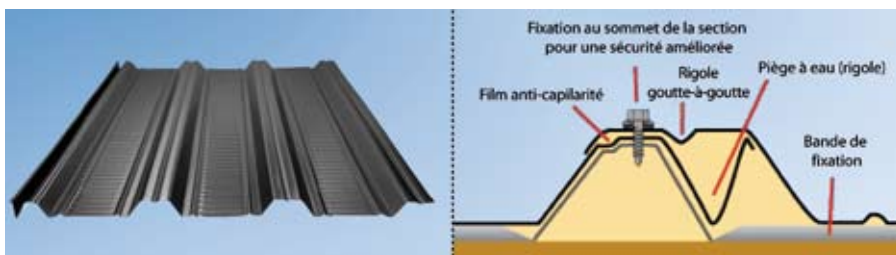


Figure 5.16 Revêtement de toit Plannja 40 (destiné à l'utilisation sur de faibles pentes de toit, de 3 à 6 degrés) Source : www.plannja.se



Figure 5.17 (Haut gauche) Bardage Ruukki Fasetti (Lamella, fabriquée en général pour des projets spécifiques Source : www.ruukki.com)

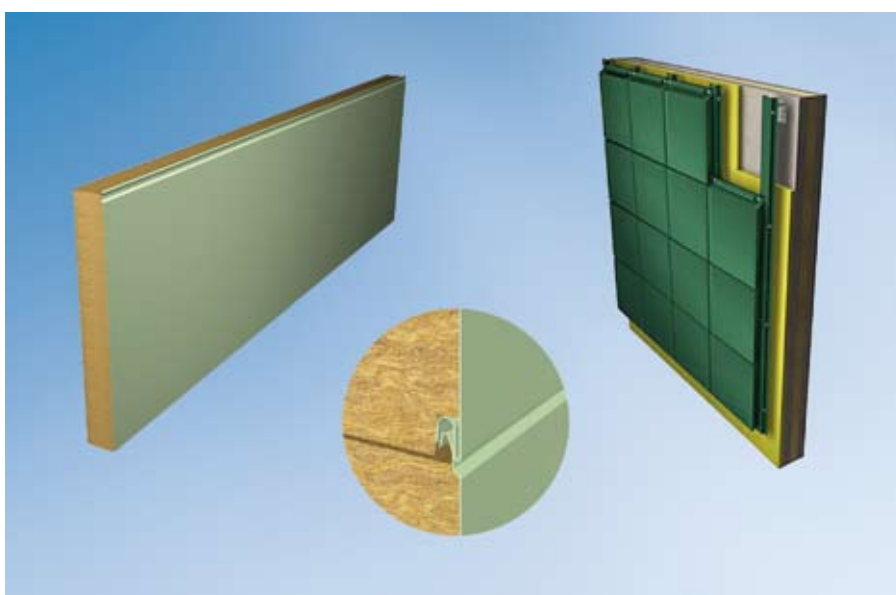


Figure 5.18 Gauche : Panneau Plannja, Droite : Cassette « Liberta Grande facade » de Ruukki

Il arrive souvent que les entreprises spécialisées livrent ce type de bâtiment sous forme de produit "clé en mains".

Les bâtiments modernes de ce type sont souvent isolés thermiquement par une épaisseur de 120 à 150 mm de laine minérale. Les bâtiments comprennent souvent un espace de bureaux sur un plancher intermédiaire.

La façon la plus courante et souvent la plus économique de stabiliser un bâtiment à plateau est de disposer un contreventement dans les pignons ainsi que dans les longs pans, et d'exploiter les tôles profilées de la toiture comme diaphragme, comme illustré dans la Figure 5.13. Les poteaux sont conçus articulés à leurs pieds. Les tôles profilées des façades peuvent également participer à l'effet diaphragme.

La Figure 5.14 montre un bâtiment à plateau libre typique. Ce type de bâtiment utilise souvent un toit à double pente avec un angle de 3,6° ou 5,7°. L'espacement des travées est habituellement de 6 à 10 m. Les parois sont construites à base de panneaux sandwich ou de tôles profilées fixées sur des lisses en acier pliées à froid. L'isolation est placée sur les tôles profilées et recouverte par un matériau de toiture approprié. Une membrane plastique assure l'étanchéité à l'air et à l'humidité.

En général, les traverses sont des fermes à treillis. Des portées allant jusqu'à 45 m peuvent être obtenues avec des profilés courants. Les poteaux sont habituellement des profils HEA, fixés au moyen de quatre boulons d'ancrage sur une platine de pied. Bien que les pieds des poteaux soient considérés comme articulés, il est recommandé d'utiliser quatre boulons pour assurer la stabilité du poteau au cours du montage.

Pour les bâtiments industriels non isolés, les tôles profilées sont supportées par

des pannes, souvent des profilés en Z pour des portées allant jusqu'à 12 m.

Etant donné que les poteaux sont articulés, il est essentiel de stabiliser le bâtiment en cours de montage.

Il est souvent nécessaire de contreventer les poteaux et parfois les traverses également. Comme un contreventement des poteaux est nécessaire pour le montage, il est courant de le concevoir comme permanent, en ne prenant donc pas en compte l'action diaphragme des murs.

Habillage de toit

Il existe un certain nombre de produits destinés aux toits, principalement des tôles profilées et tôles en formes de tuiles. La Figure 5.15 présente divers types de tôles profilées couramment utilisées. Des tôles en forme de tuiles de couverture peuvent être utilisées pour des pentes de toit de 14° et plus. Elles sont présentées avec des couleurs traditionnelles et sont bien plus légères que les tuiles en céramique ou en béton.

Des tôles à nervures profondes peuvent être utilisées pour les toits thermiquement isolés avec des portées allant jusqu'à 11 m environ. Les portées plus longues sont réalisées au moyen de tôles raidies dans les deux directions. Les portées courtes, jusqu'à 8 m, sont réalisées au moyen de profils plus traditionnels.

Le toit est habituellement conçu pour agir également comme un diaphragme, ce qui permet de le concevoir sans contreventement.

Les tôles profilées sont utilisées comme des éléments porteurs pour les toits thermiquement isolés. La hauteur du profil est choisie en fonction de la portée. L'isolation en laine minérale, est posée en deux couches comportant une feuille plastique pour réduire la perméabilité à l'air et à l'humidité.

Des tôles à profils trapézoïdaux sont utilisées comme revêtement de toit extérieur. Une pente de toit de 3.6° minimum est suffisante.

Des valeurs U de 0,3 à 0,7 W/m²K peuvent être obtenues en fonction de l'épaisseur de l'isolation. Ces valeurs satisfont les règlements de construction suédois.

Façades

Les tôles profilées utilisées pour les façades sont souvent les mêmes que celles utilisées pour la toiture.

Les panneaux sandwich assurent l'isolation thermique, la protection contre le feu et la finition. Ces panneaux comportent des tôles en acier sur leurs deux faces et une matrice constituée d'un isolant en laine minérale ou en polystyrène expansé. Selon l'épaisseur de l'isolant, les valeurs U peuvent se situer entre 0,18 et 0,8 W/m²K. Ces systèmes sont équipés de joints étanches à l'air et à l'eau. Avec de laine minérale, ce système assure de bonnes performances acoustiques et d'étanchéité au feu. Les panneaux peuvent être livrés en unités de grande longueur allant jusqu'à 10 m.

Les panneaux en acier peuvent être combinés avec d'autres matériaux comme la pierre, le bois, le verre, le crépi et le béton. Ils peuvent comporter différentes finitions de surface, avec différentes hauteurs de profil.

Certains systèmes sont destinés à la rénovation de façades, habituellement couplée à une isolation de la façade existante. Pour la fixation des tôles profilées, on utilise des écarteurs équipés de rainures qui permettent de fixer l'isolation en laine minérale.

Sur le marché suédois, on trouve des produits qui satisfont largement les règles de construction en ce qui concerne les exigences d'isolation thermique des



Figure 5.19 Profilés cintrés en acier utilisés dans un bâtiment industriel.

bâtiments industriels. Les valeurs U typiques pour un panneau sandwich de 150 mm sont de 0,24 à 0,28 W/m²K et il existe des solutions courantes avec des valeurs U jusqu'à 0,17 W/m²K.

Pratique courante au Royaume-Uni

Généralités

La construction de grands bâtiments industriels d'un seul niveau, connus sous le nom de "hangars", constitue une partie significative du secteur de la construction métallique au Royaume-Uni. Ils sont utilisés comme magasins de détail, entrepôts de distribution, usines de fabrication et centres de loisirs.

Ces structures sont dimensionnées en utilisant les méthodes plastiques pour le calcul des systèmes CFAO pour le dimensionnement et la fabrication, de composants formés à froid, comme les pannes, et de systèmes d'habillage hautement efficaces.

Le secteur des bâtiments industriels d'un seul niveau représente une valeur annuelle d'environ 1 milliard de Livres pour les ossatures (1,4 milliard d'Euros) et 1,5 milliard de Livres (2,1 milliard d'Euros) pour les systèmes d'enveloppes associés.

La conception architecturale des bâtiments industriels et des autres

bâtiments s'est développée considérablement au cours des 10 à 15 dernières années, à l'image de réalisations d'architectes dans des bâtiments symboliques tels le Centre de Distribution Renault à Swindon et l'usine Schlumberger de Cambridge.

La plus grande partie du marché de la construction industrielle demeure à base de portiques en acier. Cependant, on utilise de nombreuses variantes de cette technique de fabrication simple, comme les poutres cellulaires ou les profilés cintrés illustrés dans la Figure 5.19.

De nos jours, il y a beaucoup plus de demandes concernant les systèmes



Figure 5.20 Poutres cellulaires cintrées destinées à un centre de loisirs

d'enveloppes, en particulier relatives à la conservation de l'énergie évoquée dans la Partie L des Règles de Construction du Royaume-Uni, et aux activités à forte valeur ajoutée pour lesquelles ces bâtiments sont utilisés. L'introduction d'une Partie L révisée, comportant des exigences renforcées, et de la directive européenne sur la "Performance Énergétique des Bâtiments" en avril 2006, a entraîné l'application des exigences suivantes :

- La nécessité d'obtenir une réduction d'environ 23 à 28% des émissions de CO₂ par rapport à un bâtiment équivalent répondant aux règles de 2002 ;
- L'introduction du passeport énergétique pour de nombreux types de bâtiments.

Choix de l'acier pour les bâtiments industriels d'un seul niveau

Les critères suivants peuvent avoir une influence sur la valeur que le bâtiment apporte aux clients et aux utilisateurs :

Conception architecturale

Les architectes influent considérablement le choix de la forme et de l'aspect du bâtiment, ainsi que d'autres caractéristiques comme la performance thermique. Bien que la forme de la structure soit toujours l'apanage du concepteur et du constructeur métallique, l'utilisation de principes modernes de systèmes structuraux a été adoptée par les architectes, de plus en plus impliqués dans le secteur du bâtiment industriel. Des exemples d'utilisation architecturale de l'acier sont donnés dans les Figures 2.9 et 5.20.

Rapidité de construction

Pour des entreprises de logistique ou similaires, la rapidité de construction est vitale. Cette exigence peut influencer sur le dimensionnement de nombreuses façons, c'est-à-dire que les plans et les éléments peuvent être conçus de telle sorte qu'il soit possible de réaliser une construction parallèle plutôt que séquentielle.

Flexibilité d'utilisation

La réalisation de longues portées et la réduction du nombre de poteaux, typiques de la construction métallique, confère au bâtiment un maximum d'aptitude à accueillir différentes activités et des changements d'utilisation.

Il se peut que le client veuille, à un moment ou à un autre, vendre le bâtiment à un organisme d'investissement. Afin de faciliter ce choix, des critères tels qu'une hauteur minimale et la capacité de supporter des charges plus lourdes, soit souvent spécifiés pour préserver le capital du bâtiment et permettre une flexibilité en vue d'utilisations futures.

Maintenance

De nombreux bâtiments sont construits pour être utilisés par le propriétaire. Lorsqu'un bâtiment est loué à long terme, la clause "toutes réparations comprises pendant 25 ans", indique que le locataire est responsable de la maintenance. Actuellement, la tendance est de louer pour des périodes plus courtes et cette clause n'est plus appliquée. Le propriétaire est chargé de la maintenance. Lorsque dès le départ, il est clair que le propriétaire sera responsable de la maintenance, cela favorise le choix de matériaux de meilleure qualité possédant une espérance de vie plus longue avec des coûts de maintenance réduits.

Développement durable

Les coûts de l'énergie et la réduction des émissions de CO₂ revêtent une importance croissante, et le respect de l'environnement constitue de nos jours une question clé dans l'élaboration d'un projet. Dans le futur, il est probable que les permis de construire seront plus faciles à obtenir si les bâtiments font appel à des solutions écologiques et respectueuses de l'environnement. De nombreux clients, clients potentiels et occupants possèdent des politiques de développement durable qui conditionnent les performances des bâtiments.

Rapport qualité-prix

L'acier a pris une large part de marché dans ce secteur en raison de son aptitude à répondre aux demandes des clients. Avec l'augmentation de la complexité du dimensionnement, on constate également une augmentation de l'interdépendance entre les divers éléments ainsi qu'un haut degré de coopération et de coordination.

Questions relatives au dimensionnement

La construction métallique constitue l'un des secteurs les plus efficaces de l'industrie de la construction. Les principaux fournisseurs fabriquent les composants en usine, au moyen d'équipements informatisés pilotés directement avec des modèles informatiques tridimensionnels et comprenant les informations nécessaires pour la conception des détails constructifs. Outre le pilotage du processus de fabrication, les informations contenues dans le modèle sont également utilisées pour les commandes, la planification, la livraison et le montage.

Choix de la structure principale

Le type de structure le plus courant pour les bâtiments d'un seul niveau dont la portée est comprise entre 25 et 60 m est le portique en raison de son efficacité structurale ainsi que de sa facilité de fabrication et de montage. Les portiques peuvent être dimensionnés par une analyse élastiques ou plastiques. Les portiques dimensionnés par une analyse élastique peuvent être plus lourds, mais leur dimensionnement ainsi que leurs détails constructifs sont plus simples à réaliser avec des logiciels de dimensionnement non spécialisés.

Pour les portées supérieures, il est possible d'utiliser des fermes à treillis au lieu de portiques. Des fermes peuvent être plus efficaces pour des portées dépassant 60 m ainsi que dans des bâtiments à portées plus courtes lorsque le bâtiment abrite un nombre de machines important.

Interdépendance des structures et des enveloppes

L'efficacité structurale des portiques est obtenue en partie en raison de la stabilisation des traverses et des poteaux assuré respectivement par les pannes et les lisses. De même, l'efficacité des pannes dépend de la stabilisation assurée par l'habillage. L'action de type « diaphragme » peut également être exploitée dans le dimensionnement, ne serait-ce que pour limiter les flèches.

Les méthodes de dimensionnement pour ossature en acier sont maintenant bien connues et l'attention se porte désormais sur l'enveloppe du bâtiment. A cela il y a trois raisons principales :

- L'utilisation de structures en acier est commune aux applications industrielles et commerciales.
- La nécessité de promouvoir l'image du client et l'accès du public signifie qu'une plus grande attention a été accordée aux dispositions et à l'esthétique.
- L'accent est mis sur les économies d'énergie permises par l'enveloppe et la directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments (EPBD - Directive 2002/91/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments) prend une signification plus importante avec ses exigences au label énergétique.

Performance énergétique

Les réductions des valeurs U au cours des dernières années ont entraîné une augmentation considérable de l'épaisseur des isolants, avec des implications sur la stabilité (en particulier pour les systèmes reconstitués), le poids des habillages et les exigences de manutention qui en découlent. Cependant, il est peu probable que de nouvelles augmentations d'épaisseurs d'isolant puissent permettre une amélioration significative de la performance énergétique.

Pour de nombreuses applications, les lanterneaux de toit sont importants car ils réduisent la consommation d'éclairage artificiel nécessaire et, par conséquent, les besoins énergétiques du bâtiment. Toutefois, ils augmentent également les apports solaires, ce qui peut entraîner une température excessive en été et une augmentation des besoins de refroidissement.

Les déperditions calorifiques par les ponts thermiques deviennent également plus importantes au fur et à mesure que l'épaisseur d'isolant augmente, ce qui exige le recours à des détails constructifs élaborés et à des composants spécialisés.

Perméabilité à l'air

L'apparition des essais de perméabilité à l'air a mis en lumière l'importance de concevoir et de livrer un bâtiment qui ne soit pas soumis à des déperditions calorifiques excessives. Des études récentes ont montré que la maîtrise de la perméabilité à l'air est une façon très efficace d'améliorer les économies d'énergie.

Par exemple, alors que la norme indique une perméabilité maximale à l'air des bâtiments de 10 m³/m²/h à 50 Pascals, des niveaux de perméabilité ne dépassant pas 2 m³/m²/h sont accessibles avec une construction courante. Mais l'obtention de ce niveau requiert une qualité élevée de la construction et des détails constructifs. Pour les bâtiments possédant des surfaces au sol inférieures à 5.000 m², il devient difficile d'obtenir de faibles niveaux de perméabilité à l'air en raison de la forte proportion d'ouvertures sur l'ensemble de l'enveloppe.

Coordination du dimensionnement

La coordination des interfaces entre les divers systèmes spécialistes constitue une partie importante du processus de dimensionnement du bâtiment réel. Cette tâche est traditionnellement assurée par l'architecte, mais on obtient une meilleure coordination si la responsabilité du

dimensionnement est assurée par l'entrepreneur principal.

Processus de dimensionnement

Les éléments qu'il convient de prendre en compte, outre ceux exigés par les réglementations, sont les suivants :

- Considérations géométriques globales.
- Hauteur minimale (hauteur libre pour les ponts roulants, hauteur de jarret, etc.).
- Réalisation de la surface exploitable maximum selon les conventions de mesure.
- Disposition des poteaux afin d'obtenir une future flexibilité d'utilisation appropriée.
- Exigences concernant les charges présentes et futures.
- Choix des pannes et des lisses
- Maîtrise des flèches.
- Système d'enveloppe et garanties disponibles.
- Eventuellement, futur besoins d'accès appropriés pour véhicules.
- Tolérances de la dalle de plancher.
- Possibilités de réutilisation / recyclage des matériaux.
- Exigences concernant la fin de vie utile.
- Consommation d'énergie et réduction des émissions de CO₂.

Les considérations et conditions relatives au chantier sur la solution choisie pour l'ossature, ainsi que l'ingénierie des ouvrages extérieurs, exigent normalement l'association d'un ingénieur-consultant à l'architecte avant la mise en œuvre d'un contrat de Conception et de Réalisation. Ses missions comprennent le choix et le dimensionnement du système de fondations. Dans la majorité des bâtiments, l'ossature porteuse est articulés aux pieds.

Des constructions respectueuses du développement durable

L'exigence de constructions respectueuses du développement durable est encouragée de diverses façons, depuis les Directives de l'UE sur l'efficacité énergétique jusqu'à l'augmentation de souscriptions de

polices d'assurances de Responsabilité Sociale par les sociétés. La capacité à démontrer une approche respectueuse du développement durable devient une étape essentielle dans l'obtention d'un permis de construire. Le concept de respect du développement durable est sous-tendu par la nécessité de concilier les trois critères fondamentaux de viabilité : économique, social et environnemental. La construction

métallique doit satisfaire à la fois ces trois critères.

Aperçu des tendances de la construction industrielle au R.-U.

Le Tableau 5.3 ci-dessous montre un aperçu des tendances du dimensionnement de bâtiments industriels. Elles sont issues d'un rapport du Steel Construction Institute.

Table 5.3 Summary of trends in modern industrial warehouse design in the UK

Aspect de dimensionnement	Dimensionnements courants	Dimensionnements futurs (outre la pratique actuelle)
Forme de bâtiment et structure	Bâtiments rectangulaire, à travées multiples, d'une surface au sol allant jusqu'à 90 m x 150 m 15 m de hauteur au jarret Portiques de 30-35 m de portée avec pente de toit de 6° Travée de 6-8 m avec poteaux intérieurs espacés de 12-16 m Dalle de sol en béton fibré de 200 mm d'épaisseur Bureau attenant en ossature acier de 13,5 m avec portées de 6 et 7,5 m	8-12 m de hauteur au jarret Portiques en acier avec pente de 2° Dalle de sol en béton post-contrainte
Habillage	Panneaux sandwich pour le toit et les parties hautes des façades Panneaux en béton préfabriqués pour la partie basse des façades Valeurs U de 0,35 W/m ² K pour les murs et de 0,25 W/m ² K pour le toit Surface de lucarnes de 15% pour l'éclairage nature Bonne étanchéité à l'air (10 m ³ /h/m ² à 50 Pa)	Panneaux sandwich pour le toit Toit ure végétalisé dans certaines zones situées au-dessus des bureaux de direction (environ 20 m) Panneaux en béton préfabriqués pour les mur Dalle mixte au-dessus des zones de stockage Valeurs U de 0,25 W/m ² K pour les murs et de 0,20 W/m ² K pour les toits Surface de lucarnes de 15% (triple couche) Système de pannes et poutre en bois-plastique renforcées à envisager pour les portées de 16 m
Equipements techniques et maintenance	Chauffage à air pulsé Utilisation sélective de cellules photovoltaïques sur le toit Système d'extinction à eau Installation des équipements techniques par l'utilisateur final Durée de vie de calcul de 40 ans – 25 ans jusqu'à la première maintenance Enrobés drainants sur les parkings pour l'évacuation améliorée des eaux pluviales Collecte des eaux pluviales du toit	Utilisation plus intensive de cellules photovoltaïques sur le toit L'utilisation d'éoliennes pour la génération de l'énergie primaire peut être envisagée Utilisation plus intensive d'eau chaude solaire Sprinklers contre la propagation du feu : Leur installation dépend des exigences du client

06 Etudes de Cas

Le présent chapitre contient une série d'études de cas européens destinés à illustrer les principes de dimensionnement et de construction discutés ci-dessus.

Les études de cas sont les suivants :

- *Terminal de marchandises, Aéroport d'East Midlands, R.-U.*
Portique à double travée et poutres cellulaires pour un plancher en mezzanine et zone de bureaux adjacente.
- *Hangar Industriel Airbus, Toulouse, France.*
Fermes à treillis de longue portée pour une flexibilité de l'espace et une construction rapide.
- *Centre Commercial Cactus, Esch-Alzette, Luxembourg.*
Portiques faisant appel à des poutres cellulaires cintrées pour obtenir un espace intérieur sans poteaux et une transparence maximale.
- *Supermarché Netto, Suède.*
Structure poteaux-poutres légère exploitant l'effet diaphragme.
- *Centre de Distribution, Waghäusel, Allemagne.*
Entrepôt avec système de stockage sur rayonnages, façades à cassettes et un toit végétalisé utilisant des tôles profilées en acier pour une construction économique.

L'Aéroport East Midlands, Royaume-Uni

Hangar Industriel Airbus, France

Centre commercial Cactus, Luxembourg

Supermarché Netto, Suède

Centre de Distribution de Waghäusel, Allemagne

Terminal de marchandises à l'Aéroport East Midlands, Royaume-Uni

Un nouvel entrepôt avec bureau a été construit pour DHL à l'Aéroport East Midlands de Nottingham. L'entrepôt est construit à partir de portiques de 40 m de portée et des poutres cellulaires d'une portée de 18 m sont utilisées pour les bureaux. Le coût total du bâtiment s'est élevé à 45 millions d'Euros.

Avantages pratiques :

- Le portique simple est une solution qui permet une utilisation efficace des espaces
- Le plancher en mezzanine construit à base de poutres cellulaires supporte l'équipement de manutention
- Les bureaux sur 3 niveaux font appel à des poutres cellulaires de 18 m de portée
- Le terminal comporte 18 emplacements d'avions
- Le terminal comporte 30 aires de chargement de camions sous une verrière de 22,5 m de portée



DHL fonctionne à l'Aéroport East Midlands de Nottingham au Royaume-Uni depuis 25 ans. Le "terminal" existant était incapable d'absorber l'augmentation de son volume d'activité. De nouvelles installations de grandes dimensions ont été conçues, capables de gérer des volumes d'expédition de plus de 1.000 tonnes par an. Les installations, d'une surface de 40.000 m² comprennent deux parties distinctes : une zone d'entrepôt et de distribution et une zone de bureaux.

La zone de distribution est aménagée à partir des exigences du système de manutention mécanique modulaire et prévoit une extension future. L'on a choisis de réaliser un portique métallique à double travée de 40 m de portées. Le système de manutention mécanique est placé sur un niveau en mezzanine construit après achèvement de l'enveloppe du bâtiment. Ce niveau a été construit au moyen de poutres cellulaires, permettant l'intégration des équipements techniques au sein de la structure.

En raison des dimensions du bâtiment, une étude de stratégie de résistance au feu était à faire. L'option de trajets d'évacuation de 95 m à pu être adoptée grâce à l'utilisation de systèmes d'évacuation des fumées efficaces utilisant des événements et des écrans de cantonnement.

La zone de bureaux dispose de 9.000 m² d'espace supplémentaire sur 3 niveaux pour 650 employés. La structure utilise également des poutres cellulaires espacées de 18 m. Tous les murs intérieurs sont légers et démontables, permettant une flexibilité d'utilisation présente et future. L'espace de bureaux du rez-de-chaussée franchit une route de service, et le second niveau est suspendu aux fermes du toit.

Une verrière d'une portée de 22,5 m a été également réalisée pour donner un maximum de flexibilité dans l'agencement de la zone de chargement.

Equipe chargée du projet

Client :

DHL

Architecte :

Burkes Green

Consultant :

Burkes Green

Entrepreneur :

Howard Associates

Structure en acier :

Westcol

Equipements techniques :

Couch Perry Wilkes

Un toit incurvé a été choisi pour des raisons d'aspect et a été réalisé au moyen d'un système de revêtement à joints sertis sur chantier afin d'accélérer l'installation.

Le projet a été achevé en seulement 18 mois. DHL possède maintenant un espace efficace qui répond à ses besoins présents et futurs.

Détails constructifs *Toiture et fermes de toiture*

Les structures de portiques à double travée ont été dimensionnées en plasticité afin d'obtenir la solution la plus efficace pour cet entrepôt de 40.000 m². Les équipements de manutention mécaniques sont supportés par une structure de mezzanine indépendante faite de poutres cellulaires en acier.

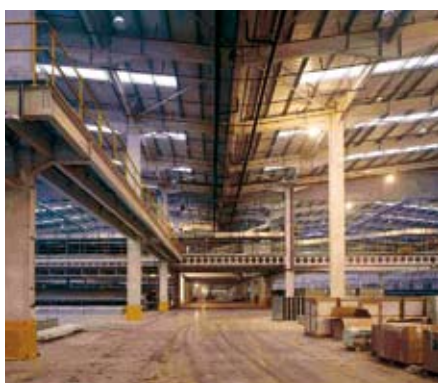
La même technologie a été utilisée pour le bâtiment de bureaux de 9.000 m², qui devait permettre une forte flexibilité d'utilisation, car la durée de vie prévue pour son format/usage actuel n'est que de 15 ans. Des poutres cellulaires ont été

choisies afin de permettre le passage des équipements techniques par des ouvertures de 600 mm de diamètre. Le dimensionnement de la zone de bureaux fut rendu plus complexe du fait de la nécessité de l'étendre au-dessus d'une route de service, ce qui nécessitait d'utiliser une ferme de longue portée au niveau du toit afin de supporter les planchers.

La stratégie de calcul en résistance au feu fut la clé de la conception de l'ensemble du bâtiment. Le plancher de la mezzanine fut conçu avec une poutraison ouverte en acier pour permettre l'extraction des fumées aux niveaux supérieurs.

Le portique à 2 travées fut conçu avec une file de poteaux encastrés et a été construit avant que la conception du système de manutention mécanique ne soit finalisée. La conception souple permise par la structure en acier a facilité l'installation de ce système en situation hors d'eau.

La tour d'observation faite d'une verrière et disposée dans un angle sur le côté posait également un problème en raison des 22,5 m de portée et des 45 m de largeur nécessaires entre les appuis. La verrière déborde à un angle de 45° et est fixée à la structure du portique pour assurer sa stabilité. Le toit du bureau comporte des poutres en acier cintrées selon un rayon de 150 m.



Hangar Industriel Airbus de Toulouse, France

La construction métallique a permis de réaliser des structures efficaces de longue portée et de poids réduit pour les grands hangars industriels où sont assemblés les avions Airbus A380 destinés aux vols intercontinentaux de la prochaine génération.

Avantages pratiques :

- Construction rapide
- Utilisation efficace des composants en acier
- Flexibilité de l'organisation de l'espace
- Approche respectant le développement durable
- Installations de levage de grande hauteur



Ce bâtiment industriel couvre 200.000 m² de surface de plancher, sa hauteur est de 45 m et il comporte des travées de plus de 115 m. Les critères à satisfaire étaient l'occupation efficace de l'espace et la flexibilité dans l'agencement de l'espace intérieur.

En raison des changements attendus dans le processus de fabrication après plusieurs années de production, une conception permettant une reconfiguration / rénovation a été envisagée, en prenant en compte la nécessité d'un rapide retour sur investissement. Les aspects architecturaux et structuraux étaient également destinés à constituer un reflet attrayant des performances de l'entreprise.

Le hangar le plus grand, qui mesure 115 m de long sur 250 m de large, est équipé des ponts roulants lourds suivants :

- Deux ponts roulants industriels parallèles, de 50 m de portée et de

22 tonnes de capacité pour le levage des ailes.

- Deux ponts roulants industriels parallèles, de 35 m de portée et de 30 tonnes de capacité pour le transport du fuselage.
- Deux grues suspendues à double charge 2 x 4 tonnes pour le service normal.

Les ponts roulants destinés au levage des ailes se déplacent sur des chemin de roulement suspendus à la ferme de la structure du toit. Des portes coulissantes permettent une ouverture de 117 x 32 m². Elles sont supportées par leur propre ossature. Cette énorme structure fut dimensionnée et installée de manière économique grâce à des profilés reconstitués et une poutre supérieure à treillis.

Détails constructifs Toiture et fermes de toit

Les fermes de toit ont une portée de 117 m. La hauteur des fermes varie de 8 m au



Project Team

Client :

EADS

Architecte :

ADPI

Bureau d'études :

Coopération : ADPI & Jaillet-Rouby

Entrepreneur :

**URSSA (Espagne), CIMOLAI (Italie),
CASTEL et FROMAGET, JOSEPH
PARIS, RICHARD DUCROS
(France), BUICK (Belgique)**

Bureau de Contrôle :

SOCOTEC and VERITAS

niveau des appuis à 13,5 m à mi-portée. Les éléments principaux de toit sont composés de deux ossatures en treillis en acier de 33 m de portée sur la longueur du bâtiment et réalisés à l'aide de profils creux rectangulaires. Chaque élément de toit comprend une paire de treillis, un antérieur et un postérieur, une structure de toit, des équipements techniques de toit, le système de lutte contre l'incendie, etc. Une fois assemblé au niveau du sol, l'ensemble de chaque élément fut levé et positionné en un seul morceau sur les poteaux.

Les poteaux sont encastrés au sol et leur rapport d'élançement est identique dans les deux directions afin d'éviter tout phénomène horizontal pendant les opérations de levage.

L'assemblage des fermes au sol permet une construction sûre, une utilisation réduite d'échafaudages. Il s'agit d'une opération simple et de construction rapide. Les assemblages entre les

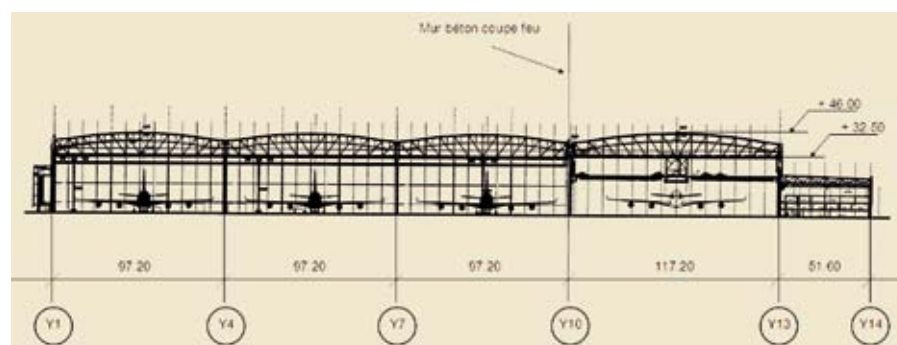
éléments du treillis et la tête des poteaux sont articulés.

Cette méthode de construction simple offre les avantages suivants :

- Rapidité des opérations d'assemblage dans une phase de montage critique.
- Aucun soudage pendant l'assemblage.
- La membrure supérieure de la ferme est assemblée et simplement appuyé sur une poutre courte située au sommet du poteau.

La flèche verticale des fermes a été limitée au 1/2000ème de la portée en raison des exigences relatives au fonctionnement des ponts roulants.

Les éléments de la ferme principale s'étendant sur la largeur du bâtiment sont des profilés en I reconstitués, assemblés par des boulons. Chaque poteau est composé de deux profilés reconstitués distincts liés par une âme en treillis continu.

**Vue intérieure du bâtiment en cours de construction :**

Cabinet Jaillet-Rouby, France

Centre commercial Cactus à Esch/Alzette

Ce projet urbain à Esch/Alzette au Luxembourg, comporte une structure en acier faisant appel à des poutres cellulaires cintrées et une façade vitrée. Ce bâtiment met en valeur la légèreté de la structure métallique apparente réalisée grâce à une approche moderne du calcul au feu.

Avantages pratiques :

- Espace intérieur dépourvu de poteaux et offrant un maximum de flexibilité
- Une esthétique agréable grâce à l'utilisation de poutres cellulaires cintrées
- Une approche de calcul au feu permet l'utilisation d'acier non protégé



Le supermarché de taille moyenne est situé dans le centre-ville d'Esch/Alzette et remplace une ancienne structure. Le propriétaire voulait disposer d'un centre commercial clair et moderne et a opté pour un espace ouvert comportant une immense surface vitrée dans deux des façades. Une des exigences était que la structure en acier, comportant des poutres cellulaires cintrées de longue portée, soit apparentes.

En raison de l'emplacement du supermarché en centre-ville, les autorités locales exigeaient une résistance au feu de 90 minutes pour la structure en acier supportant la toiture. Le Concept de Sécurité au Feu Naturel a été appliqué pour étudier la propagation d'un feu dans le supermarché. En utilisant ce concept, la réalisation d'un bâtiment muni d'une façade totalement vitrée et d'une structure en acier apparente a été possible.

Equipe chargée du projet

Client :

Cactus S.A.

Architecte :

Paczowski Fritsch Associés

Concepteur de la structure :

Schroeder & Associés S.A.

Entrepreneur :

MABILUX S.A.

Calcul au feu :

ArcelorMittal**Données relatives à la construction**Année de construction : **2003**Hauteur totale : **9,13 m**Implantation au sol : **28,5 x 48,0 m****Détails constructifs****Structure**

La structure comprend une série de portiques réalisés au moyen de poteaux en acier et de poutres cellulaires cintrées. Les portiques sont reliés au moyen de pannes de toit en acier et d'un système de contreventement. L'ossature a une travée unique de 20 m de portée. La hauteur des poteaux est de 7,5 m et la hauteur maximale du bâtiment à mi-portée de la poutre cintrée est de 9,1 m. La travée entre portiques principaux adjacents est de 7,5 m.

Les portiques sont reliés par des pannes continues (IPE200). La toiture est réalisée au moyen de tôles profilées en acier (HOESCH TR44A), d'une isolation thermique et d'une étanchéité. Les poutres Cellular Beams © sont produites par ArcelorMittal à partir de profilés HEB450 en acier S235. La hauteur des poutres est de 590 mm, le diamètre des ouvertures est de 400 mm et la distance entre les ouvertures de 600 mm.

Concept de Sécurité dit « Feu Naturel »

Arcelor Profil Luxembourg Research a été sollicité pour réaliser le calcul au feu de la structure et les autorités ont accepté l'application du Concept de Sécurité au Feu Naturel. Le calcul au feu était basé sur les spécifications de l'EN 1991-1-2 (Le potentiel calorifique caractéristique pour l'immeuble de bureaux est de 730 MJ/m²) et prenait en compte les mesures actives de lutte contre l'incendie (alarme automatique

avec transmission aux pompiers, systèmes d'extraction des fumées, etc).

L'installation des sprinklers n'était pas exigée en raison des faibles dimensions du bâtiment. La température lors de l'incendie a été calculée au moyen du logiciel Ozone en caractérisant deux zones. Les températures localisées ont été calculées au moyen de la méthodologie Hasemi. Un ensemble de simulations a été réalisé afin d'analyser la rupture des façades vitrées (les façades avant et arrière sont totalement vitrées).

Etant donné que les températures maximales calculées pour les poteaux en acier atteignaient 880°C, une analyse par éléments finis tridimensionnels a été effectuée considérant l'ensemble de la structure à cette température. Le modèle complet en trois dimensions du bâtiment a été soumis à l'analyse. Toutes les simulations ont été effectuées au moyen du logiciel de calcul par éléments finis SAFIR. Cette approche de calcul au feu a conclu que la structure en acier ne nécessite aucune protection passive contre le feu.



Supermarché Netto, Suède

Il s'agit d'un exemple de bâtiment industriel suédois typique composé de poteaux, fermes de toit et tôles profilées pour la couverture, conçues pour exploiter l'effet diaphragme

Avantages pratiques :

- Méthode de construction rapide
- Haut degré de préfabrication
- Taille minimale de la structure porteuse
- Peu d'appuis intérieurs, ce qui permet la réalisation de grands espaces ouverts facilitant d'autres activités



Les bâtiments légers d'un seul niveau à structure en acier occupent une position dominante en Suède parmi les bâtiments industriels ou les entrepôts.

Tous les magasins Netto sont conçus sur le même modèle, ce qui rend leur construction exceptionnellement rapide et très économique.

Le nouveau magasin Netto de Smålandsstenar est un exemple de cette conception simple et économique.

Les petites différences entre les structures dépendent des situations

géographiques, qui peuvent entraîner des variations dans les charges de neige et les actions du vent. Les charges de neige varient de 1 à 3 kN/m² et la vitesse du vent de 21 à 26 m/s.

La structure est composée de poteaux articulés, de traverses et de tôles à profil trapézoïdal sur le toit ainsi que de contreventements dans les parois pour assurer la stabilité. Les tôles de couverture sont conçues pour assurer une action de diaphragme qui transmet les charges horizontales au contreventement.

Equipe chargée du projet

Client :

Netto Marknad AB

Architecte :

GL Consult

Concepteur de la structure :

EAB AB

Construction métallique :

EAB AB**Données relatives à la construction**

Surface de vente :

750 m²

Acier utilisé :

20 tonnes

Tôles de couverture :

1000 m²

Temps de montage total :

5 semaines

Durée de réalisation du projet :

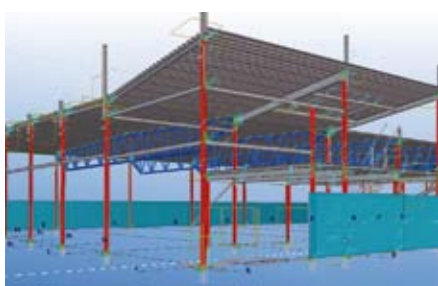
17 semaines**Détails constructifs**

Les épaisseurs des tôles à profil trapézoïdal sont de 0,65 mm et 1,2 mm. Ces tôles transmettent à la fois les actions verticales et les actions horizontales, comme le poids propre, les charges de neige et de vent, ainsi que les charges obliques, jusqu'aux fondations par l'intermédiaire des poteaux, principalement des profilés HEA, et des contreventements. Des profilés HEA sont également utilisés comme poutres de pignons. Pour les solives sous toiture en travées uniques d'une portée maximum de 10 m, on utilise des profils IPE.

Lorsqu'il est important de maintenir une hauteur minimale de bâtiment, ou

lorsqu'il n'est pas possible de recourir à des contreventements verticaux dans les murs, on peut envisager l'utilisation de portiques fait de profilés en acier de plus faibles dimensions, ce qui permet donc des économies de matière.

Après réalisation des fondations en béton, le temps nécessaire pour assembler les poteaux, les fermes et les tôles de couverture fut d'environ une semaine. La phase suivante consista à réaliser les façades et à installer la couverture. Enfin, les équipements techniques ainsi que les aménagements intérieurs furent réalisés dans un bâtiment hors d'eau.



(Haut) Modèle en 3D utilisé pour les calculs de structure



(Droite) Chantier de construction montrant la couverture et les planchers intermédiaires mis en place

Distribution Centre in Waghäusel, Germany

Le troisième centre de distribution de DM-Drogerie Markt comportant une zone de stockage de 20.000 m² a ouvert dans le sud-ouest de l'Allemagne en 2004. L'utilisation d'un système de construction à rayonnages porteurs a permis des économies de temps et d'argent par rapport à des solutions traditionnelles.

Avantages pratiques :

- Densité de stockage maximale
- La structure ne perturbe pas l'utilisation du bâtiment
- Cette méthode de construction est la moins coûteuse pour un entrepôt de grande hauteur
- Temps de construction réduit
- Optimisation du temps de retour sur investissement



DM-Drogerie Markt – l'une des premières chaînes de magasins de droguerie en Europe – possède plus de 1.500 magasins de détail et emploie près de 20.000 personnes. Avec un chiffre d'affaires de près de 3 milliards d'Euros, DM-Drogerie Markt propose une gamme d'environ 12.000 produits. En 2003, DM-Drogerie Markt a décidé de construire de nouvelles installations logistiques à Waghäusel, ville du sud-ouest de l'Allemagne située entre Karlsruhe et Mannheim.

Ce centre de distribution est divisé en quatre grandes parties. Tandis que les bâtiments destinés à la réception et à l'expédition des marchandises, aux locaux techniques, ainsi qu'aux bureaux, locaux sociaux et restaurant d'entreprise furent construits en béton armé, le cœur du complexe, le magasin des commandes, est construit en acier. Il mesure 90 m de long, 125 m de large

et 20 m de haut, et offre de l'espace pour 24.024 casiers de commande et de stockage.

Le magasin des commandes est un système de stockage à rayonnages porteurs, appelé ainsi car les rayonnages construits en acier servent également d'ossature porteuse principale pour le toit et les murs. Les rayonnages ont été montés sur la dalle en béton. L'habillage de la couverture et des façades ont été rapidement fixés sur les rayonnages au moment du montage. Par rapport aux solutions traditionnelles comprenant une structure porteuse principale et des rayonnages ne supportant qu'eux-mêmes, le délai de réalisation fut considérablement réduit, permettant ainsi un retour sur investissement plus rapide.

Outre la réduction du délai de construction et le coût relativement faible de la construction, la réduction

Equipe chargée du projet

Client :

dm- drogerie markt GmbH & Co. KG

Architectes :

BFK + Partner Freie**Architekten BDA, Stuttgart**

Entreprise Généraler :

Swisslog AG, Buchs, Switzerland

Construction Métallique :

Nedcon Magazijnrichting B.V,**Doetinchem, Netherlands**

Calcul au feu :

Brandschutz Hoffmann, Worms

Equipements techniques :

AXIMA GmbH, Karlsruhe**Données relatives à la construction**

Période de construction :

2003-2004

Surface du chantier :

70.000 m²

Magasin des commandes :

200.000 m³

Hall de réception / expédition des marchandises :

4.500 m²

significative de la période d'amortissement constitue un autre avantage. Toutefois, le système de rayonnages dut être dimensionné en prenant en compte les cas de charges supplémentaires provoqués par le poids propre de l'enveloppe du bâtiment ainsi que par les surcharges de vent et de neige.

Détails constructifs

La construction métallique de l'ossature de rayonnages porteurs a été montée sur une dalle de sol en béton armé.

L'habillage des façades a été conçu en utilisant des plateaux isolés. Les plateaux intérieurs sont fixées aux poteaux de pignons des longs pans. Les poutres de toit sont disposées selon l'implantation des rayonnages dans le sens longitudinal avec un espacement de 3,14 m. Un grand toit végétalisé a été réalisé au moyen d'un complexe de tôles en acier, 100 mm d'isolation thermique, une couche d'étanchéité et une couche de terre.

Le bâtiment comporte un total de 5 cages d'escaliers en béton armé ayant une

résistance incendie de 90 minutes. Placées sur la façade arrière, des passerelles extérieures d'évacuation en acier relient les cages d'escaliers.

Protection contre le feu

Le magasin des commandes, le hall de réception et d'expédition des marchandises, ainsi que les locaux techniques sont séparés par des murs coupe-feu. Les murs coupe-feu dépassent de 50 cm la hauteur du toit du magasin de réception et d'expédition des marchandises. En outre, une bande de toiture renforcée a été réalisée afin d'empêcher la propagation du feu entre le magasin des commandes et le hall de réception et d'expédition des marchandises.

Le magasin des commandes ainsi que le magasin de réception et d'expédition des marchandises sont tous deux équipés de systèmes complets de sprinklers, avec un circuit d'arrosage supplémentaire dans les rayonnages du magasin des commandes. Le bâtiment comporte en complément un système automatique d'alarme d'incendie.



Vue intérieure du magasin des commandes



Coupe frontale



Vue générale

**ArcelorMittal**

Long Carbon, Research and Development,
66, rue de Luxembourg, L - 4009 Esch/Alzette, Luxembourg
www.arcelormittal.com

**Bouwen met Staal**

Boerhaavelaan 40, NL - 2713 HX Zoetermeer,
Postbus 190, NL - 2700 AD Zoetermeer, The Netherlands
www.bouwenmetstaal.nl

**Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)**

Espace Technologique, L'orme Des Merisiers - Immeuble Apollo
F - 91193 Saint-Aubin, France
www.cticm.com

**Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)**

Sohnstraße 65, D - 40237 Düsseldorf,
Germany
www.stahlforschung.de

**Labein - Tecnalia**

C/Geldo - Parque Tecnológico de Bizkaia - Edificio 700,
48160 Derio, Bizkaia, Spain
www.labein.es

**SBI**

Vasagatan 52, SE - 111 20 Stockholm,
Sweden
www.sbi.se

**The Steel Construction Institute (SCI)**

Silwood Park, Ascot, Berkshire,
SL5 7QN, United Kingdom
www.steel-sci.org

**Technische Universität Dortmund**

Fakultät Bauwesen - Lehrstuhl für Stahlbau
August-Schmidt-Strasse 6, D - 44227 Dortmund, Germany
www.uni-dortmund.de