



CONSTRUCTIONS RENTABLES

STRATEGIES POUR LES BÂTIMENTS A OSSATURE
METALLIQUE EN EUROPE

(UTILISATION DU LOGICIEL DE CALCUL DES
COÛTS - ACE)

Etude pour: RFCS contrat RFSR-ct-2007-00037

Document: RT1336

Version: 06

Date: Octobre 2010

Version	Issue	Objet	Auteur	Relecteur	Approuvé
6		Projet final pour commentaires	JWR	BAB	BAB

Bien que toutes les précautions aient été prises pour garantir l'exactitude des informations contenues dans ce document, l'Institut de Construction en Acier (SCI) n'assume aucune responsabilité pour toutes erreurs, mauvaises interprétations, ou toutes pertes ou dommages en découlant.

Pour plus d'informations sur la publication, téléphone direct: +44 (0) 1344 636505
ou Email: publications@steel-sci.com

Pour plus d'information sur les cours, téléphone direct: +44 (0) 1344 636500
ou Email: education@steel-sci.com

Email: reception@steel-sci.com

Site internet: <http://www.steel-sci.org>

AVANT-PROPOS

Cette publication est un des documents à fournir dans le cadre du projet “Rentabilité des bâtiments à ossature métallique en Europe (ESE)”, subsidié par le Fonds de Recherche de l’Acier et du Charbon (RFCS), par l’intermédiaire de la convention n°RFSR-CT-2007-0037. Il a été conçu pour fournir une aide aux concepteurs et aux constructeurs de bâtiments à structure en acier, de sorte qu’ils puissent rendre la structure la plus économique possible selon leurs besoins. Ce document est destiné à être utilisé avec le logiciel ACE qui a été mis à jour dans le cadre de ce projet. Ce logiciel est disponible sur internet.

Ce document a été rédigé par le Docteur J. W. Rackham de l’Institut de la Construction en Acier (SCI), avec la collaboration et les commentaires des autres partenaires du projet, à savoir :

Docteur Bassam Burgan (Co-ordinator)	Institut de la Construction en Acier (SCI)
Professeur Andrzej Garstecki	Université de la Technologie de Poznan
Docteur Maciej Klósak	Université de la Technologie de Poznan
Ir Françoise Lecomte-Labory	ArcelorMittal Global R & D (Esch)
Ir Bennie Potjes	Bouwen met Staal
Ir Jo Naessens	InfoSteel (Centre Information Acier)

Le projet a été approuvé et supervisé par le Groupe Technique TGS8 (RFCS).

TABLE DES MATIERES		Page
	AVANT-PROPOS	iii
	RESUME	vii
1	INTRODUCTION	1
2	LES AVANTAGES DES BATIMENTS A OSSATURE METALLIQUE	3
	2.1 Développement durable	3
	2.2 Fabrication en usine dans des conditions contrôlées	3
	2.3 Rapidité de construction	3
	2.4 Flexibilité d'utilisation	4
	2.5 Avantages de l'acier dans les bâtiments résidentiels	4
	2.6 Avantages de l'acier dans les bâtiments commerciaux	4
	2.7 Avantages de l'acier dans les bâtiments industriels	5
3	LES BATIMENTS RESIDENTIELS MULTI-ETAGES A OSSATURE METALLIQUE	6
	3.1 Options structurelles	6
	3.2 Systèmes de planchers et charges	11
	3.3 Isolation acoustique	20
	3.4 Toiture	21
	3.5 Sécurité incendie	22
4	BATIMENTS COMMERCIAUX MULTI-ETAGES A OSSATURE METALLIQUE	23
	4.1 Options structurelles	23
	4.2 Mise en œuvre du plancher et chargement	24
	4.3 Toiture	36
	4.4 Sécurité incendie	36
5	BATIMENTS INDUSTRIELS A STRUCTURE METALLIQUE	38
	5.1 Concept de dimensionnement et configuration des bâtiments industriels	38
	5.2 Portiques cintrés ou en pente	42
	5.3 Les structures poutres et poteaux	50
	5.4 Sécurité incendie	52
	REFERENCES	54

RESUME

Ce guide est destiné aux concepteurs et aux producteurs de bâtiments à structure en acier en Europe leur permettant de réaliser des dimensionnements efficaces et compétitifs. Il couvre les bâtiments industriels à un niveau, ainsi que les bâtiments commerciaux et résidentiels à plusieurs étages.

Ce document montre les avantages de la construction en acier et met en évidence différents atouts pour certains types de bâtiments. Il donne un aperçu du logiciel de calcul de coût ACE, et explique les paramètres qui affectent les coûts de construction. Les options du logiciel permettant de dimensionner différentes parties de la structure, comme les fondations, le type de structure et de plancher, etc... sont décrites, de telle sorte que des comparaisons de coût peuvent être effectuées.

Les principaux types de bâtiments sont expliqués en détail. Pour les bâtiments résidentiels et commerciaux à plusieurs étages, une aide est proposée pour le dimensionnement de la structure. Des informations sur une conception optimale des différents types de planchers sont également fournies. Les points clés de la construction de planchers sont expliqués, et une aide pour le dimensionnement des éléments structurels et autres composants est aussi fournie. Une stratégie de conception optimale pour le dimensionnement de chaque type de plancher est recommandée avec le logiciel ACE. Des informations supplémentaires sont données sur la sécurité incendie, l'isolation acoustique des sols pour les bâtiments résidentiels et sur les options d'intégration des équipements techniques dans les bâtiments commerciaux.

Une aide au dimensionnement est donnée pour les bâtiments industriels à un seul niveau, et différentes options de structures sont présentées. Des conseils sur les toitures en pentes et les toitures plates à simple travée sont fournis, ce sont les systèmes les plus couramment utilisés pour les bâtiments de ce type. Une large gamme de structures avec toitures en pente est considérée, et une aide est fournie sur leur utilisation optimale. Un tableau pour ces structures à toitures en pente est disponible pour réaliser des estimations. Des indications sont également proposées sur les connexions utilisées en pratique et sur la sécurité incendie.

1 INTRODUCTION

De grands progrès ont été réalisés ces dernières années dans la conception des bâtiments à ossature métallique. Des informations sur le dimensionnement de ce type de bâtiment existent dans des publications telles que les Eurocodes, ainsi que de nombreux projets RFCS/ECSC. Les Eurocodes fournissent au concepteur une large gamme de méthodes pour dimensionner des bâtiments à ossature métallique. Cependant, les informations sur les coûts des constructions en aciers ne sont pas facilement disponibles. Le plus souvent l'acier n'a pas été recommandé pour la construction, parce que les concepteurs:

- n'ont pas considéré l'acier comme solution possible en raison de leur à priori sur la complexité ou la non familiarité avec les coûts de construction, ou
- ont préparé une solution en acier, mais l'ont rejetée aux premières étapes de dimensionnement en raison d'une mauvaise approche de conception la rendant non économique.

Une étude de marché effectuée dans neuf pays Européens⁽¹⁾ a démontré la nécessité d'avoir plus d'informations générales sur les coûts des constructions en acier.

Il existe des relations directes et indirectes entre le dimensionnement optimal d'une structure et son coût. Une modélisation optimale en terme de structure n'est pas nécessairement performante en terme de coût (par exemple : une structure non-contreventée avec des connexions mixtes poutre-poteau, performante du point de vue structurelle, peut devenir plus onéreuse à cause de la complexité des connexions).

En plus des facteurs identifiés conditionnant les coûts directs de construction (par exemple, le poids des matériaux utilisés, la hauteur du bâtiment, la sécurité incendie, etc.), il est également important de considérer d'autres coûts liés au type de structure. En effet, bien que l'un des avantages bien connus de l'acier soit la rapidité de construction, l'effet de cette vitesse sur le coût est souvent négligé. Par exemple, le coût de la gestion des installations de chantier, la réduction d'emprunt pour financer la construction, et le bénéfice financier lié à une location plus rapide aux clients seraient également à prendre en compte.

La compétitivité de la construction en acier est aussi fortement influencée par les conditions générales du marché qui ont été assez volatiles ces derniers temps. Une forte demande de la Chine a causé une flambée des prix de l'acier sans précédent ces dernières années à travers le monde, le tout, suivi d'une forte baisse en raison de la récession. Souvent, les solutions structurelles en acier sont perçues comme étant plus coûteuses par rapport à celles réalisées avec d'autres matériaux, mais il n'existe aucune solution simple permettant aux architectes et aux acheteurs potentiels de vérifier cela. Un projet a été mis en place afin de répondre à cette attente et de fournir un outil internet permettant le calcul des coûts (ACE) pour les concepteurs de bâtiments en acier en Europe.

Le logiciel ACE permet à ses utilisateurs de calculer le coût effectif des solutions en acier au stade de conception du projet. Il a été développé en utilisant les dernières techniques de modélisation des coûts pour l'ensemble du bâtiment, il comprend une interface conviviale pour intégrer facilement les mises à jour des taux des prix. Le champ d'application du logiciel couvre les bâtiments industriels à un niveau, ainsi que les bâtiments résidentiels et commerciaux à plusieurs étages. Il permet aussi l'optimisation des coûts sur l'ensemble de ces types de bâtiments en rendant les

comparaisons possibles. Une aide est ainsi apportée aux concepteurs pour convaincre les décideurs et les investisseurs à utiliser l'acier dans ce secteur. L'outil a été validé en utilisant des données de coûts de constructions relatives à des bâtiments de référence pour chacun des trois types de bâtiment.

Ce document propose aux concepteurs des stratégies pour une construction compétitive selon le type de bâtiment. Il a été réalisé pour accompagner le logiciel de calcul de coût ACE. C'est un guide pratique pour le dimensionnement de chaque type de bâtiments, ainsi que pour le choix de la structure et de ses composants le plus économique. Enfin, cet outil devrait réduire le temps nécessaire habituellement pour élaborer une solution économique.

2 LES AVANTAGES DES BATIMENTS A OSSATURE METALLIQUE

2.1 Développement durable

Actuellement, au moins 50% de la production d'acier de l'UE provient de matériaux recyclés, de plus l'acier est 100% recyclable. La faible quantité de déchets produite par l'industrie et par la construction est recyclée. Tous les composants des constructions en acier peuvent aussi être recyclés à la fin de leur cycle de vie. Le poids d'une structure en acier est faible en comparaison aux autres alternatives, et il implique de fondations moins importantes. De plus, son utilisation a un impact évident sur la réduction des coûts, car son usage permet une utilisation plus efficace des sites de « friches industrielles » (terrains sur lesquels on a déjà construit), qui ont souvent une qualité de sol médiocre. Il existe de nombreux planchers, toitures et systèmes de revêtement qui peuvent être intégrés dans une structure en acier. Ces systèmes peuvent fournir des niveaux élevés d'isolation et d'étanchéité. La consommation d'énergie durant toute la vie du bâtiment est ainsi réduite, et les émissions de CO₂ sont minimisées.

2.2 Fabrication en usine dans des conditions contrôlées

Les éléments métalliques et les composants sont fabriqués dans des conditions d'usine avec de très faibles tolérances. Le processus permet le transfert électronique de données du concepteur au fabricant, ce qui améliore la qualité des contrôles et permet de réaliser plus aisément des modifications dans la conception. Cette procédure garantit un produit de haute qualité et une mise-en-œuvre correcte dans le bâtiment. Le procédé n'est pas affecté par le climat, et assure un planning de construction plus fiable et moins risqué pour le client. La livraison de l'acier parachevé sur le site de construction peut être effectuée seulement en temps utile, ce qui minimise les stocks sur chantier. Cela peut être très important pour des sites encombrés ou dans les zones urbaines. Il y a aussi besoin de beaucoup moins d'eau sur les sites de construction de structures en acier.

2.3 Rapidité de construction

Les constructions en acier peuvent être beaucoup plus rapides que les autres alternatives. Par exemple, les planchers et les éléments structurels d'un bâtiment commercial classique de 8 étages peuvent être construits jusqu'à 40% plus rapidement qu'une solution alternative en béton armé. La fabrication des éléments structurels en acier peut coïncider avec l'étape de fondations. La construction rapide de la structure en acier permet une mise-en-œuvre des éléments de façade et toiture en début de programme. Ce qui permet de créer un environnement sec pour les corps de métiers suivants, qui pourront aussi commencer plus tôt.

Les avantages financiers liés à la mise-en-œuvre plus rapide sont les suivants:

- Réduction des équipements et frais de gestion du site – réduction des coûts de location des locaux de chantier, du personnel, frais de grue, etc.
- Retour en investissement plus rapide – réduction des flux de trésorerie
- Réduction des intérêts de paiement

2.4 Flexibilité d'utilisation

Grace aux propriétés de résistance et de rigidité inhérentes à l'acier, les longues portées peuvent être atteintes facilement, ce qui permet de réaliser de grands espaces libres. Les espaces libres permettent un usage varié qui peut être adapté aux besoins du client. Un bâtiment à ossature métallique peut assez facilement être étendu du fait que les éléments structurels peuvent être modifiés afin d'y joindre une nouvelle structure annexe. Les systèmes de plancher intégrés à la structure métallique peuvent contenir facilement des ouvertures, et les poutres peuvent être parachevées avec des trous pré-perçés. Tout cela permet une flexibilité considérable pour les équipements de service.

2.5 Avantages de l'acier dans les bâtiments résidentiels

Le secteur des bâtiments résidentiels représente 25% de la construction en UE; au sein de ce marché, les appartements et les grands immeubles résidentiels représentent 15 à 50 % des foyers suivant les pays.

Le secteur du logement résidentiel est de plus en plus exigeant concernant la performance énergétique, l'adaptabilité et une meilleure qualité des bâtiments. Il y a aussi d'importantes tendances régionales et démographiques pour différents types d'habitations, incluant aussi bien le logement des personnes seules ou à plus forte densité.

D'autres avantages clés relatifs au logement résidentiel sont :

- **L'isolation thermique** – Les matériaux modernes d'isolation utilisés dans la construction en acier ont une faible valeur U, qui représente la déperdition thermique, et un haut niveau d'étanchéité qui peut conduire à un environnement chaud, sans courant d'air à l'intérieur, et une facture d'énergie réduite pour l'occupant.
- **Performance Acoustique** – Dans la construction légère en acier, la présence de cavités et d'une isolation obtenue par plusieurs épaisseurs de matériaux et couches résistantes fournissent d'excellentes performances acoustiques.
- **Durabilité** – La construction sèche et l'utilisation de matériaux pour la structure sans fluage ni retrait à long terme va minimiser les fissurations et les dommages des finitions au cours de la période de séchage.

La rapidité de construction peut être particulièrement importante pour les grands immeubles résidentiels tels que les logements étudiants, qui doivent être réalisés dans des délais courts en dehors des périodes scolaires.

2.6 Avantages de l'acier dans les bâtiments commerciaux

Pour les bâtiments commerciaux, les avantages de la construction en acier sont notamment:

- La possibilité d'offrir de grandes aires de planchers exemptes de poteaux
- L'intégration aisée des équipements techniques afin de réduire les hauteurs de systèmes de plancher.
- Une flexibilité à long terme qui permet de modifier le bâtiment et son usage au cours du temps
- Un stockage minimum sur le site de construction, en raison d'un taux élevé de fabrications hors chantier.

2.7 Avantages de l'acier dans les bâtiments industriels

Pour les bâtiments industriels, les avantages de la construction en acier sont:

- Capacité de fournir des structures de longues portées relativement légères de manière rapide et économique
- Possibilité de fournir des structures attractives du point de vue architectural
- Réalisation d'une structure facilement adaptable et modulable pour ses utilisations futures

3 LES BATIMENTS RESIDENTIELS MULTI-ETAGES A OSSATURE METALLIQUE

3.1 Options structurelles

Pour les immeubles à plusieurs étages nécessitant un espace à ciel ouvert, une structure en acier est une solution idéale. Elle peut être combinée à de nombreux types de plancher, y compris les planchers mixtes, les dalles préfabriquées en béton, les systèmes à poutres intégrées (ou Slimfloor), et les poutres inversées en acier – voir partie 3.2. Dans les bâtiments résidentiels, les poutres sont souvent disposées en alignement avec les murs entre logements (murs de séparation), mais les systèmes de planchers avec poutres intégrées permettent de disposer des cloisons partout. Les poteaux sont généralement des profilés HE/UCK ou des sections creuses carrées et sont conçues pour s'adapter à l'épaisseur d'un mur de séparation lorsque cela est possible. La plupart des bâtiments sont des structures tridimensionnelles avec des grilles horizontales, c'est à dire, avec des poutres primaires et secondaires bidirectionnelles à 90°C. La stabilité latérale et la résistance aux forces horizontales doivent être prises en compte séparément dans ces deux principales directions. Des solutions différentes peuvent être appropriées dans les deux directions.

Les bâtiments résidentiels qui doivent accueillir un parking au niveau du rez-de-chaussée ou du sous-sol nécessiteront une trame de la structure compatible avec l'accès et l'aménagement des stationnements. Sinon, des poutres permettant un transfert de masse important peuvent être utilisées pour couvrir et assurer un espace libre de colonne sur la zone du parking, mais cette solution est coûteuse. La disposition des aires de stationnement sera déterminée en partie par les modalités d'accès, que ce soit par l'avant, l'arrière ou le côté du bâtiment, mais aussi par le rayon de manœuvre et le champ de vision qui doivent aussi être pris en compte. Le choix d'une ou deux voies de circulation a aussi une influence majeure sur l'espace disponible. Généralement, les places de parkings doivent être situées sur les deux côtés d'un axe de circulation centrale. Quand les places de stationnement sont perpendiculaires aux murs de façade, le passage a normalement 6100 mm minimum de large, et les aires de stationnement ont entre 2400 et 2800 mm de largeur et 4800 à 5800 mm de longueur (les dimensions maximales représentent des places de taille relativement généreuse). La disposition typique d'un parking est montrée à la Figure 3.1.

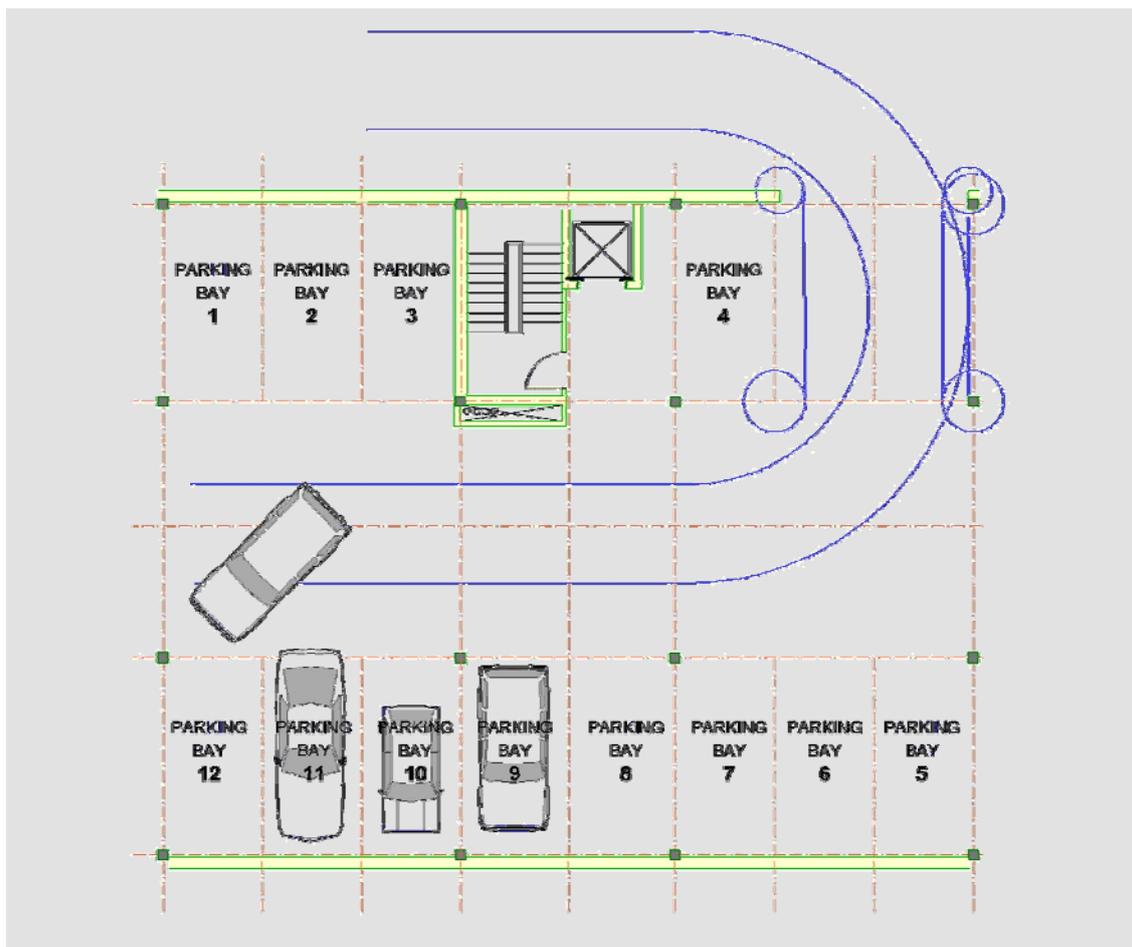


Figure 3.1 Disposition classique d'un parking dans un bâtiment résidentiel à plusieurs étages

Les bâtiments qui n'ont pas de parking auront plus de liberté dans le choix de la disposition du noyau central et des contreventements. Les structures sont souvent classifiées comme contreventées ou non, selon que le contreventement est assuré, ou que la structure est reliée à un noyau rigide, qui englobe généralement les ascenseurs, les équipements techniques verticaux et les escaliers. Des exemples de contreventement et d'un noyau rigide en béton sont présentés à la figure 3.2 et à la figure 3.3. Quand des contreventements en croix ne sont pas possibles dans un bâtiment, ils peuvent être remplacés par un contreventement en portique stable.

Les structures contreventées sont les plus économiques si on utilise des connexions simples, où les poutres et les poteaux sont articulés, et transmettent uniquement le cisaillement depuis les extrémités des poutres aux poteaux, comme montré à la figure 3.4(a). Ces connexions sont aussi plus faciles à analyser.

Le noyau central ou les baies contreventées doivent être positionnés de façon rigoureusement symétrique par rapport au plan d'ensemble du bâtiment, car une disposition asymétrique ferait accroître la répartition des efforts dans les contreventements. Quand le bâtiment est divisé en sections par des joints de dilatation, chaque section doit être considérée comme un bâtiment séparé. Les planchers agissent comme des diaphragmes qui transfèrent l'ensemble des actions horizontales au noyau central ou aux baies contreventées. La disposition des contreventements devrait être considérée en phase de conception du projet afin de minimiser les problèmes liés à la disposition des fenêtres.

Les appartements adjacents sont une bonne solution dans les bâtiments résidentiels de moyenne hauteur (c.-à-d. jusqu'à 8 étages), car dans ces cas les contreventements peuvent être intégrés dans les murs.

Les structures non contreventées dépendent de la rigidité et de la résistance des connexions entre poutres et poteaux afin de leur permettre de résister aux efforts latéraux (principalement en flexion). Ces structures sont complexes à analyser, elles nécessitent l'utilisation de plats d'extrémité plus épais, plus de boulons et de raidisseurs, ainsi qu'un temps de fabrication plus long que les connexions « simples » (cf. figure 3.4(b)). Généralement elles nécessitent des sections plus larges afin de fournir la rigidité et la résistance nécessaires. Elles ne sont pas particulièrement appropriées aux bâtiments résidentiels qui ne nécessitent pas d'intégrer de nombreux équipements techniques. La limite pratique pour ce type de construction est normalement considérée à plus ou moins 4 étages, en raison des dimensions non-économiques des éléments de la structure et du dimensionnement non usuel des connexions. La hauteur des étages dépend du choix du système de plancher et de la hauteur sous plafond spécifiée, mais les valeurs habituelles sont de 2500 mm de hauteur sous plafond et 450 à 550 mm d'épaisseur de plancher – ce qui conduit à un étage d'une hauteur totale comprise entre 3 et 3,1 m.

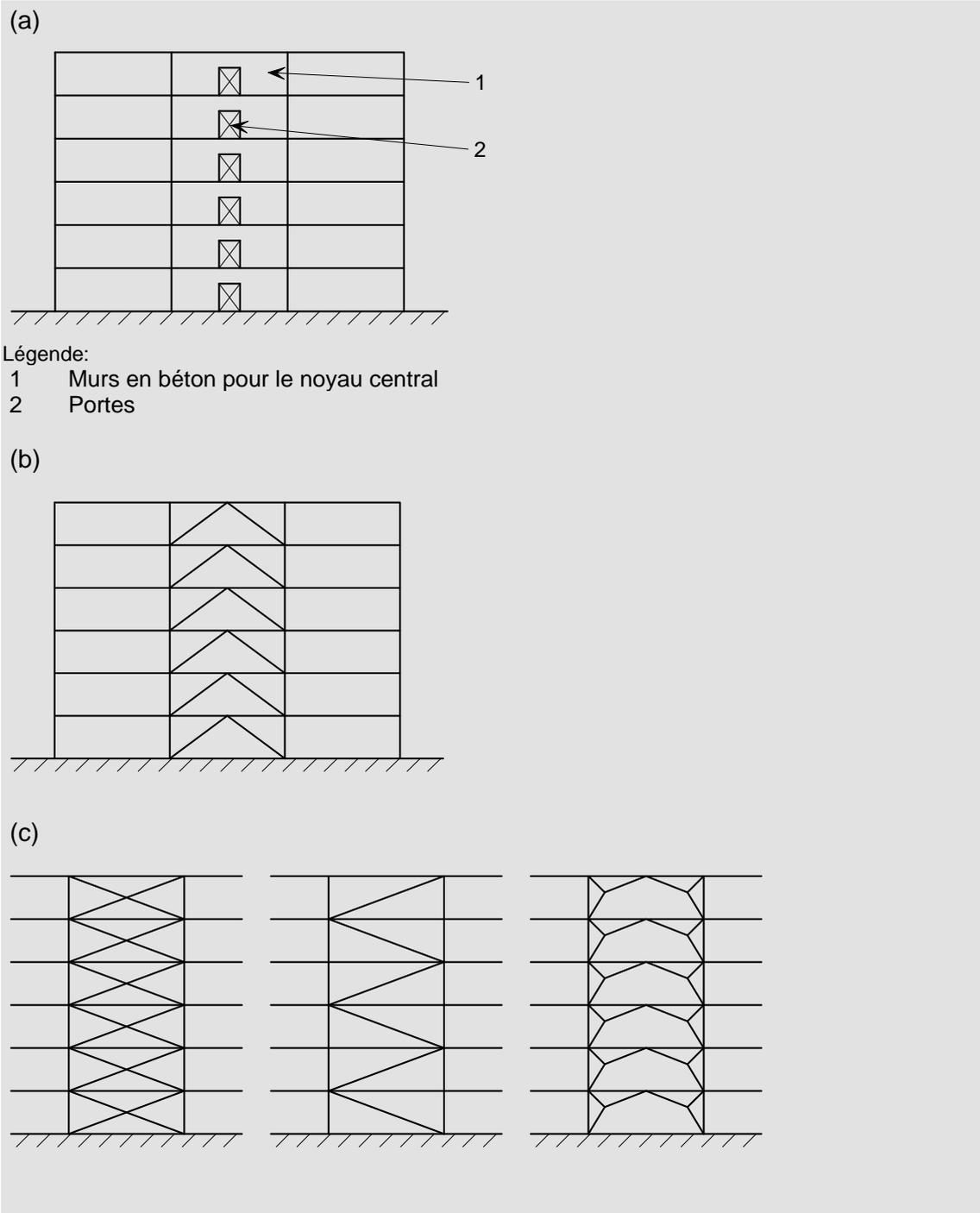


Figure 3.2 Types de structures contreventées:
 (a) noyau rigide en béton,
 (b) contreventement en V inversé,
 (c) alternatives de contreventements triangulaires

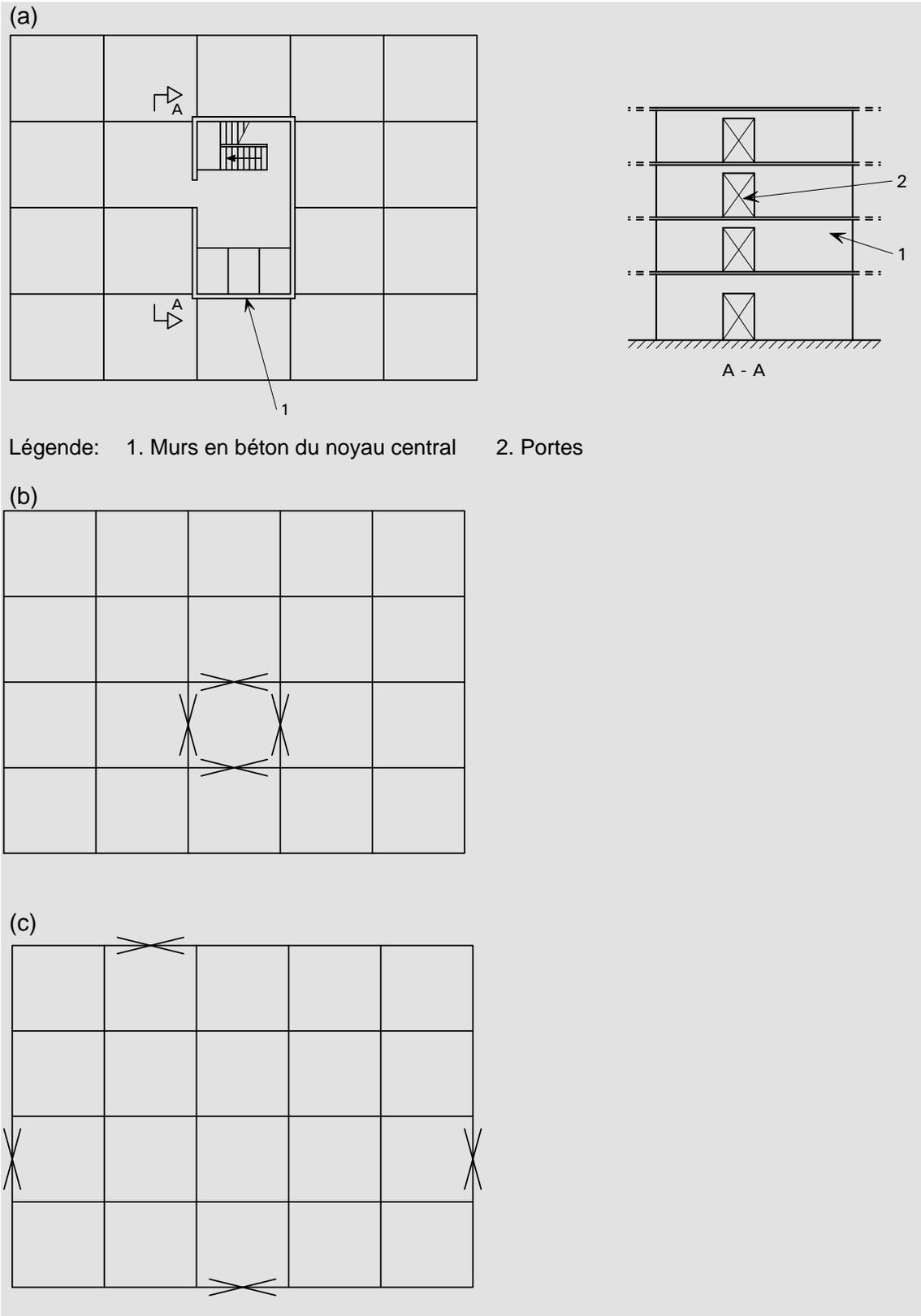


Figure 3.3 Disposition efficace pour la résistance aux efforts horizontaux:
 (a) Noyau en béton entourant escaliers, ascenseurs, équipements techniques, etc.
 (b) Noyau rigide en panneaux contreventés,
 (c) Panneaux rigides non groupés en noyau

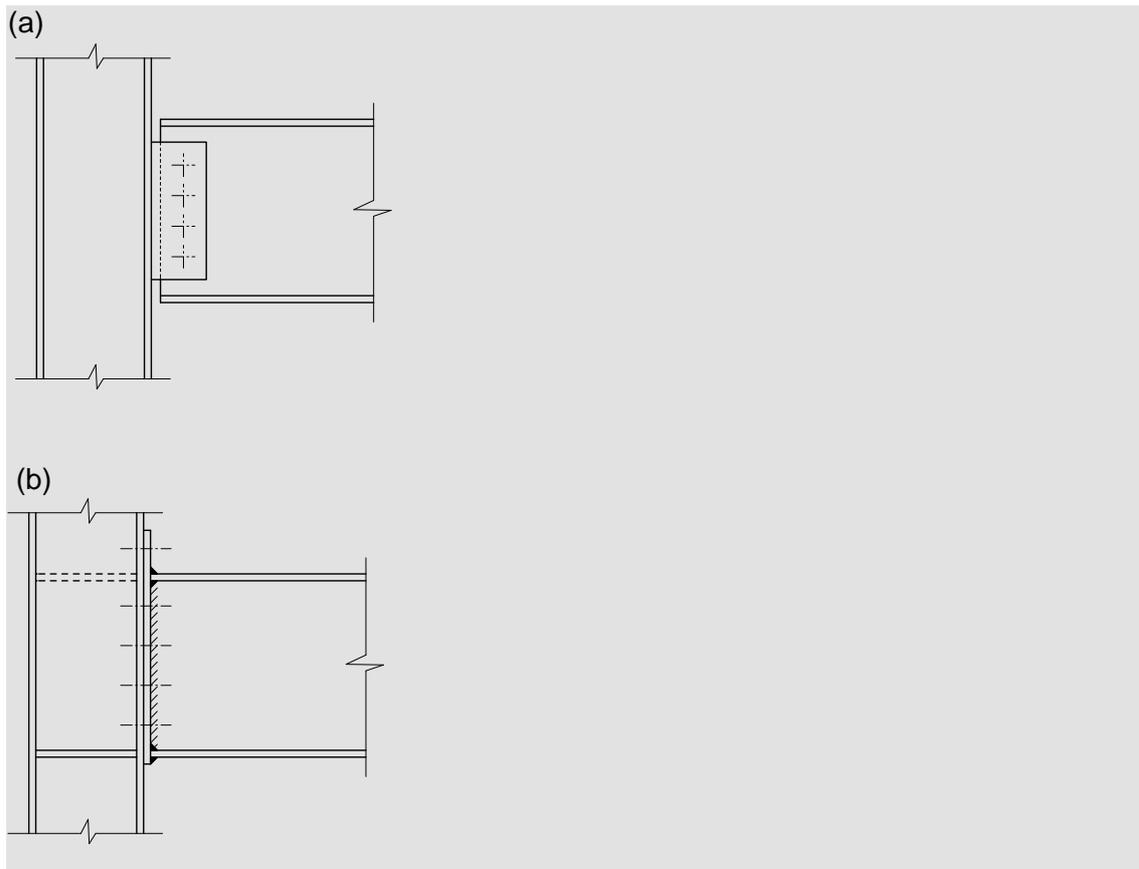


Figure 3.4 Types de connexions poutre-poteau:
(a) articulé,
(b) rigide

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement

Pour une construction la plus économique:

- Concevoir une trame de poteaux compatible avec le parking en rez-de-chaussée/sous-sol quand un parking est nécessaire.
- Utiliser une structure contreventée pour les constructions simples
- Disposer les contreventements de façon symétrique
- Concevoir des étages d'une hauteur de 3 à 3,1 m

3.2 Systèmes de planchers et charges

Ce paragraphe donne des détails sur le taux de chargement des sols et décrit différents types de planchers souvent utilisés dans les bâtiments résidentiels à plusieurs étages. Les principales caractéristiques de chaque système de plancher y sont décrites, avec des conseils sur les principaux points de dimensionnement.

3.2.1 Charges

Pour les sols, les principaux types de charges à prendre en compte dans le dimensionnement du bâtiment sont:

- Le poids propre (finitions incluses).
- Les charges d'exploitation (y compris les charges plus élevées dans les zones communes).

Les charges classiques sont décrites dans le Tableau 3.1.

Tableau 3.1 Types de charges dans les bâtiments résidentiels

Type de charges	Valeurs moyennes (kN/m ²)
<i>Charges imposées</i>	
Usage résidentiel	1.5 à 2.0
Couloirs et zones communes	3
Zones commerciales	2.5 à 4
Cloisons (légères)	0.5 à 1.0
<i>Poids propres:</i>	
Parois en acier léger	0.5 à 1.0
Dalles de planchers mixtes	2.5 à 3.5
Dalles préfabriquées en béton	2.5 à 4

Le chargement des structures est couvert par la norme EN 1991 de l'Eurocode 1 – Actions sur les structures. Les valeurs recommandées pour les charges imposées sont indiquées dans la partie 1.1, celles pour les charges d'incendie dans la partie 1.2. Les actions en phase de construction se trouvent dans la partie 1.6.

3.2.2 Poutres mixtes et dalles mixtes avec bacs acier

Les poutres mixtes et les dalles mixtes avec bacs acier et béton coulé sur place sont très souvent utilisées en construction métallique. Les poutres mixtes sont des poutrelles en acier conçues pour collaborer avec la dalle de béton grâce à l'utilisation de connecteurs soudés. Les connecteurs sont soudés à travers la tôle, mais ils peuvent aussi être pré-soudés ou fixés à la flamme à la poutre. L'action mixte augmente considérablement la résistance et la rigidité des poutres en acier, ce qui améliore ses capacités de portée. Les bacs en aciers sont utilisés pour agir en tant que coffrage permanent et 'renforcement' de la dalle. Les tôles profilées font partie intégrante des 'systèmes mixtes' et leur dimensionnement dépend largement de l'espacement des poutres et de l'épaisseur de la dalle, mais il est normalement régi par les charges (poids humide du béton et des équipements) supportées pendant la phase de construction.

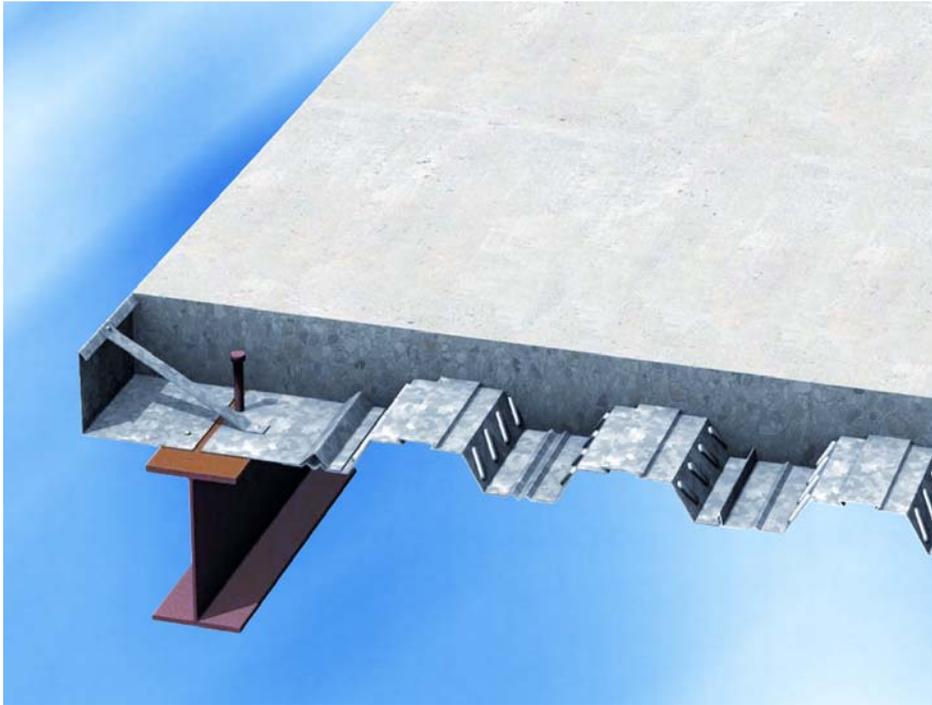


Figure 3.5 Dalle mixte classique et poutre de rive mixte (le treillis de renforcement est omis pour raison de clarté de schéma)

Des portées de 2,5 à 4,5 m peuvent être atteintes en utilisant un plancher mixte entre deux poutres et un bac acier de 50 à 80 mm de hauteur, avec des épaisseurs d'acier de 0,8 à 1,2 mm. L'épaisseur de dalle est généralement comprise entre 130 à 150 mm pour un maximum de 60 mm de hauteur de bac, et de 150 à 170 mm pour 80 mm de hauteur de bac. Aucun étayage provisoire n'est nécessaire pendant la construction, à condition que l'épaisseur des tôles profilées soit convenablement choisie pour la portée considérée. Les dalles mixtes sont relativement minces par rapport à la portée (des rapports portée/épaisseur allant jusqu'à 32 sont possibles). Pour un dimensionnement performant, le bac métallique doit être continu sur une ou plusieurs travées intermédiaires, ce qui peut être impossible si les connecteurs sont pré-soudés sur les poutres. Pour des raisons de manipulation, les longueurs des tôles profilées ne devraient pas excéder les 10 m. Pour la plupart des applications, un appui sur des poutres porteuses est nécessaire dans les cas de portée suivants:

- 3 m pour des tôles profilées de 50 mm de hauteur
- 3,6 m pour des tôles profilées de 60 mm de hauteur
- 4,2 m pour des tôles profilées de 80 mm de hauteur

Les dalles mixtes sont généralement renforcées par un treillis soudé (par exemple A142 à A193, défini par l'aire d'armature en mm^2/m). Dans certains cas, des armatures supplémentaires sont placées dans la nervure des tôles afin d'améliorer la résistance en flexion et la résistance au feu de la dalle. La somme des renforcements augmente selon le temps de résistance au feu requis, mais un treillis d'armature nominal de 0,2% de l'aire de section transversale de la dalle peut assurer 90 minutes de résistance au feu. Un treillis supplémentaire (jusqu'à 0,4% pour bac acier étayé en phase de coulage de béton) est souvent prévu dans la dalle au-dessus de la poutre afin de limiter les fissurations de la dalle, ce qui se produit souvent au niveau des appuis, mais qui n'affecte pas la résistance de la dalle. Des capacités de portées et de charges pour différentes épaisseurs de dalle, ainsi que la résistance au feu de dalles mixtes sont

présentées au tableau 3.2 pour des tôles profilées de 60 mm et au tableau 3.3 pour des tôles de 80 mm.

Table 3.2 Tableau de dimensionnement classique de dalles mixtes avec des bacs de 60 mm (hauteur d'onde)

Cas de portée	Résistance au feu (min)	Épaisseur de dalle (mm)	Armature (mm ² /m)	Portées max. (m) pour le chargement imposé			
				t = 0,9 mm		t = 1,2 mm	
				3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²	3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²
Tôles à portée simple – sans étai	60	120	A142	2,8	2,8	3,2	3,2
	90	130	A193	2,7	2,7	3,1	3,0
Tôles à double portée – sans étai	60	120	A142	3,2	3,2	3,9	3,7
	90	130	A193	3,1	3,1	3,8	3,5
	120	150	A252	2,9	2,9	3,5	3,4
Une file d'étais provisoires	60	120	A353*	3,8	3,4	4,0	3,6
	90	130	A353*	3,4	3,1	3,6	3,3
	120	150	A353*	3,1	2,9	3,3	3,0

t = épaisseur des tôles profilées en acier

* exigé pour le contrôle de la fissuration en construction étayée

A193 = armature de 193 mm²/m dans les deux directions.

Table 3.3 Tableau de dimensionnement classique de dalles mixtes avec des bacs de 80 mm (hauteur d'onde)

Cas de portée	Résistance au feu (min)	Épaisseur de dalle (mm)	Armature (mm ² /m)	Portées max. (m) pour le chargement imposé			
				t = 0,9 mm		t = 1,2 mm	
				3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²	3,5 kN/m ²	5,0 kN/m ²
Tôles à portée simple - sans étai	60	150	A193	3,7	3,2	4,1	3,5
	90	160	A252	3,8	3,2	3,9	3,3
Tôles à double portée - sans étai	60	150	A193	4,2	3,8	4,6	4,1
	90	160	A252	4,1	3,9	4,5	4,0
	120	170	A393	4,0	3,9	4,3	3,9

t = épaisseur des tôles profilées en acier

Des planchers minces sont recommandés pour les bâtiments résidentiels, ainsi que des poutres massives telles que les sections UKC, HEA ou HEB sont généralement préférées. Les portées classiques font entre 4,5 et 7,5 mètres avec un rapport portée/épaisseur de l'ordre de 25-30, et une épaisseur de plancher totale de 500 à 600 mm. Cette épaisseur peut être réduite si les murs peuvent être alignés aux poutres. Des tôles profilées de 80 mm utilisées dans une dalle de 150 mm d'épaisseur peuvent atteindre une portée de 4,5 m sans étayage. Elles sont alors idéales pour l'aménagement des espaces intérieurs, car les poutres peuvent s'aligner avec les murs. Cela permet d'incorporer les poutres dans les murs et facilite la fixation des parois légères (structures en acier).

La disposition des poutres peut impliquer des poutres primaires et secondaires qui dans les deux cas peuvent être mixtes. Toutefois, les poutres primaires mixtes nécessitent plus de connecteurs et de renforcements, pour cette raison les poutres primaires sont supposées être non mixtes dans le logiciel ACE.

Les planchers mixtes peuvent résister au feu jusqu'à 120 minutes grâce au treillis d'armature uniquement, à condition qu'ils soient posés en continu sur une ou plusieurs travées intermédiaires. Des armatures supplémentaires peuvent être placées dans les nervures des tôles profilées quand la zone de plancher est fortement chargée (par exemple les locaux techniques). La protection au feu des poutres peut être obtenue par des :

- protections par écrans rapportés (plaques de plâtre)
- sprays de protection
- peintures et revêtements intumescents

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement:

Pour une construction la plus économique possible:

- Utiliser une dalle de béton entre 130 et 150 mm d'épaisseur
- Choisir une épaisseur de tôles profilées afin d'obtenir une travée d'une portée comprise entre 2,5 et 3,75 m entre chaque poutres (sans avoir besoin d'étaiyage)
- Choisir une portée de poutre entre 4,5 et 7,5 m et utiliser des profilés UKC ou HE avec un rapport portée/épaisseur d'environ 25-30 pour les poutres mixtes. Dans le cas de poutres non mixtes, un rapport de 18 est suggéré comme valeur d'essai.

3.2.3 Poutres supportant des dalles préfabriquées

Dans ce type de construction, les dalles de planchers préfabriquées en béton sont appuyées sur la semelle supérieure des poutres en acier. Dans certains cas, elles peuvent être conçues pour collaborer avec les poutres au moyen de connecteurs de cisaillement pré-soudés sur la semelle supérieure des poutres, comme montré à la figure 3.6. Les dalles préfabriquées en béton peuvent être utilisées avec des poutres les supportant, lorsque la dalle de plancher repose sur le sommet de la poutre, ou alors avec des poutres intégrées, lorsque les sections sont intégrées avec la dalle de plancher, comme décrit plus loin. Une disposition des poutres qui maximise la portée de l'ensemble est souvent la solution la plus efficace. Les conditions temporaires en phase de construction, au moment où la poutre n'est chargée que d'un côté par un élément préfabriqué peut être le facteur dimensionnant. L'utilisation de poutres supportant la dalle de plancher entraîne inévitablement une plus grande hauteur globale de plancher contrairement aux poutres intégrées ou Slimfloor.

L'un des principaux critères de conception de poutres supportant les dalles préfabriquées en béton consiste à réduire le plus possible la hauteur de poutre. Cela est particulièrement important pour les poutres mixtes car il doit y avoir suffisamment d'espace autour des connecteurs (entre les extrémités des éléments préfabriqués) afin de permettre l'action mixte. Pour cette raison, les dalles préfabriquées sont utilisées en général dans les applications de grandes portées avec des profilés IPE/UB plus hauts, ou dans les cas de faibles portées avec des profilés HE/UKC. Il est recommandé que la largeur de la semelle supérieure soit au moins de 190 mm afin d'assurer une zone d'appui de longueur suffisante (50-60 mm) pour les éléments préfabriqués. L'utilisation des profilés IPE entraîne un plancher plus épais, à moins que les poutres ne soient alignées avec les murs.

Le système avec dalles préfabriquées en béton qui peut être analysé dans ACE comprend une dalle pleine mince, aussi connue sous le nom de 'pré-dalle' (entre 50 et 100 mm d'épaisseur) supportant une couche de béton coulé sur place et généralement conçue pour collaborer avec les poutres en acier. Les portées sont comprises entre 2,5 et 4,0 m.

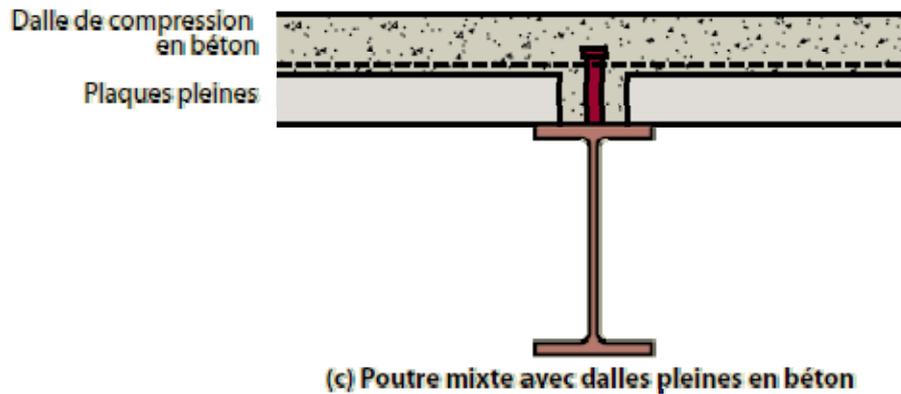


Figure 3.6 Poutres mixtes utilisées avec des éléments préfabriqués

Les poutres de rive sont souvent dimensionnées comme non-mixtes, avec quelques goujons de cisaillement prévus pour répondre aux exigences de robustesse. Les poutres parallèles aux éléments préfabriqués ne peuvent pas être mixtes.

Les chapes de béton (de 60 mm minimum) contribuent à assurer l'isolation acoustique dans les bâtiments résidentiels. Toutefois, une couche résistante supplémentaire et une surface en bois à particules sont encore nécessaires, afin de répondre aux normes d'isolation acoustique les plus exigeantes. La chape de béton contribue aussi à satisfaire la résistance au feu et aux exigences de robustesse en raison de son armature en treillis placé dans la chape.

Les poutres en acier soutenant les dalles préfabriquées en béton peuvent être relativement épaisses et peuvent être dimensionnées avec un rapport portée/hauteur de 18 pour les profilés IPE. La flèche sera alors dans les limites normales de rapport portée/360 sous charges imposées.

Les dalles préfabriquées en béton peuvent atteindre une résistance au feu jusqu'à 90 minutes maximum sans chape de béton, ou 120 minutes maximum avec une chape en béton et des armatures noyées dans les dalles alvéolaires emplies de béton.

La protection au feu des poutres en acier peut être réalisée avec :

- Une protection par écrans rapportés (plaques de plâtre) ;
- Un spray de protection ;
- Des peintures et revêtements intumescents.

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement:

Pour une construction la plus économique possible:

- Maximiser la portée des éléments préfabriqués, là où c'est possible
- Utiliser des poutres mixtes avec un rapport portée/épaisseur d'environ 18 pour les profilés IPE, et 25 pour les profilés UKC/HE pour le schéma de dimensionnement
- Dimensionner les poutres de rive comme non-mixtes

3.2.4 Poutres intégrées avec dalles mixtes ou préfabriquées

Les poutres intégrées supportent une dalle préfabriquée en béton ou une dalle mixte de forte épaisseur, coulée sur place. L'objectif est que la poutre soit « absorbée » dans l'épaisseur de la dalle. Ces profilés sont en général des IPE coupés à mi-hauteur et soudés sur une plaque de semelle inférieure. D'autres types de profilés sont également possibles:

- Profilés HE ou UC avec plaque inférieure soudée (connues sous le nom de poutres Slimfloor - ce type de poutres étant couvert dans un chapitre suivant);
- Poutres laminées ASB à section transversale asymétrique (connues sous le nom de poutres Slimfloor Asymétriques - le logiciel ACE ne couvre pas ce type de section);
- Tubes rectangulaires RHS avec plaque inférieure soudée, souvent utilisés pour les poutres de rive (le logiciel ACE ne couvre pas ce type de section).
- 'Top Hat Q-beams' fabriquées à partir de plats, avec une section transversale en forme de chapeau (non couvert par le logiciel ACE)

Une disposition des poutres comprenant une poutre dans l'axe central avec un système de plancher reposant jusqu'au bord des poutres de rive sera généralement plus économique qu'un système de dalle ou d'éléments préfabriqués entre poutres transversales parallèles. Le rapport portée/épaisseur des poutres peut varier considérablement, parce qu'il est important de garder des sections minces, dans un intervalle de 250 à 350 mm de hauteur. Les éléments entre poteaux sont souvent des sections en « T » renversés, qui peuvent s'intégrer facilement dans le plancher. Les poutres de rive peuvent aussi bien être sous plancher ou intégrées, selon les exigences architecturales. Toutefois, les profilés RHS avec plaque inférieure soudée et profilé de forme fermée sont très efficaces pour résister à la torsion, mais peuvent être plus coûteux à fabriquer.

Lorsque des poutres intégrées supportent des dalles alvéolaires en béton, comme illustré dans la Figure 3.7, les dalles ont souvent une portée plus longue que celle des poutres, de sorte que l'épaisseur de la dalle et celle de la poutre soient compatibles. On utilise en général une chape en béton afin d'obtenir de meilleures caractéristiques structurales et dynamiques du plancher, une surface plane, un bon encastrement des poutres et une meilleure performance acoustique. Les poutres intégrées sont conçues pour obtenir une épaisseur structurale minimale du plancher. Les poutres intégrées portant des dalles alvéolaires sont dimensionnées de telle sorte que la portée de la dalle soit au maximum de 9 m et celle de la poutre de 6 à 7,5 m. Le cas de calcul critique est souvent celui correspondant à la phase de chantier avec un chargement dissymétrique, ou un chargement sur des travées adjacentes inégales et provoquant une torsion de la poutre.

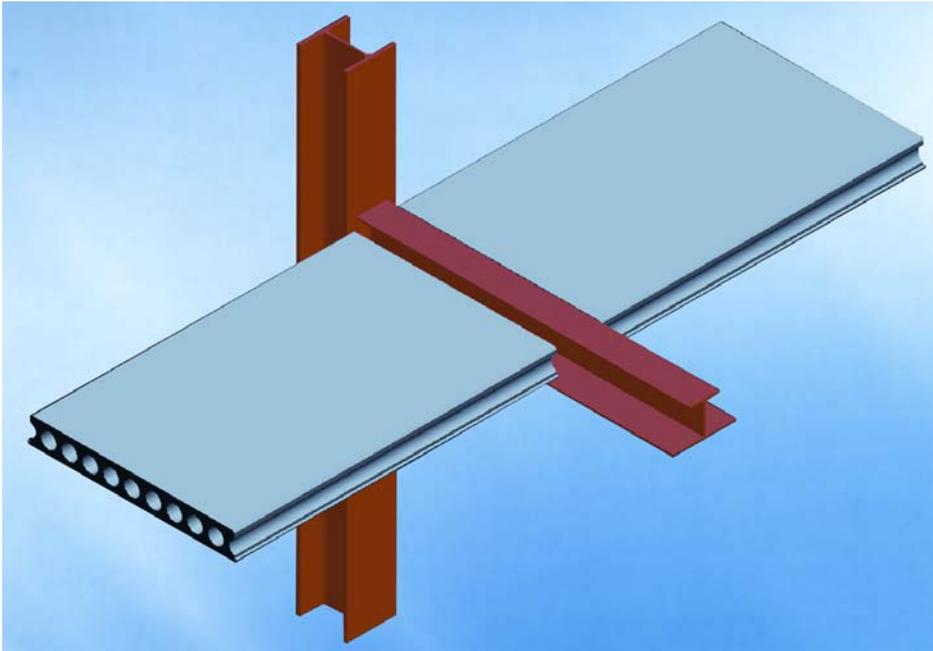


Figure 3.7 Poutres de plancher intégrées supportant des dalles préfabriquées en béton

Les poutres intégrées peuvent être utilisées avec des dalles mixtes de forte épaisseur, quand le bac acier est dimensionné pour agir de façon mixte avec la dalle de béton afin de former une épaisseur totale de plancher de l'ordre de 300 à 350 mm, comme montré à la figure 3.8. Des armatures de renforcement sont placées dans les ondes du bac acier pour augmenter la résistance du plancher, ainsi que pour la résistance au feu. Un treillis d'armature est disposé sur l'ensemble du plancher dans la partie supérieure de la dalle pour prévenir les fissurations sur les poutres, répartir les charges localisées et améliorer la résistance au feu.

Des bacs jusqu'à 6 m de portée peuvent être mis en œuvre sans étayage provisoire, et sont les plus économiques. Des bacs d'une portée de 9 à 10 m peuvent être placés avec étayage important, une dalle plus épaisse et des barres de renforcement de grand diamètre dans les ondes. Les bacs ont généralement une épaisseur comprise entre 190 à 225 mm, selon le produit utilisé. L'épaisseur minimum de béton au-dessus du bac est de 70 à 90 mm, afin de répondre aux exigences structurales, mais surtout afin d'obtenir une résistance au feu appropriée. Le rapport portée/épaisseur des dalles mixtes de forte épaisseur doit être limité à 25 afin d'obtenir des performances adéquates en service. Les poutres intégrées sont idéalement espacées d'environ 6 m afin d'éviter l'étayage du bac. Le dimensionnement des poutres est normalement gouverné par la torsion en phase de construction, ou par les critères en service.

Un renforcement est nécessaire par dessus ou à travers l'âme des poutres intégrées avec des dalles préfabriquées ou mixtes, dans le but de relier le plancher d'un côté de la poutre à l'autre côté. Il est nécessaire d'assurer la robustesse de la construction et ainsi minimiser les risques de ruine progressive. Avec les dalles mixtes, il y a normalement une couche de béton suffisante au-dessus de la poutre pour que le treillis d'armatures soit placé par-dessus la poutre. Cela peut être aussi possible avec des éléments préfabriqués, mais, quand il n'y a pas de revêtement supérieur, des barres de renforcement doivent être placées au travers de l'âme des poutres et dans les encoches de l'élément préfabriqué.

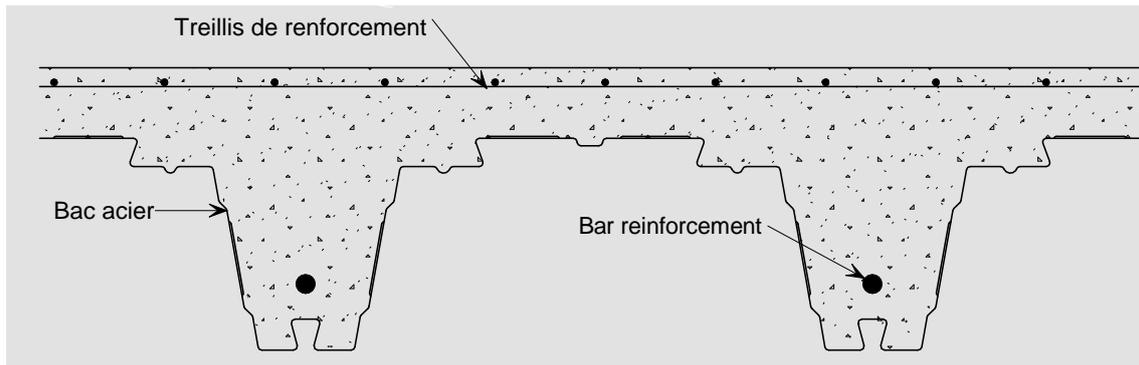


Figure 3.8 Dalle mixte avec bac acier de forte épaisseur

L'enrobage partiel des poutres intégrées dans le béton permet une résistance au feu de 60 minutes. Une protection supplémentaire contre le feu peut être appliquée sur la semelle inférieure par divers moyens, tels que :

- Protection par écrans, par exemple par plaques de plâtre ;
- Revêtements intumescents appliqués sur site ou en usine.

Les plaques constituent le moyen le plus pratique pour les poteaux. Les revêtements intumescents sont minces (1 ou 2 mm d'épaisseur) et permettent de conserver le profil de l'élément visible. Ces revêtements peuvent être appliqués hors chantier.

Les poutres intégrées utilisées avec dalles alvéolaires et une chape de béton, ou avec des dalles mixtes de forte épaisseur assurent une excellente isolation acoustique, mais des couches additionnelles particulières sont souvent nécessaires pour répondre aux exigences acoustiques dans les bâtiments résidentiels. Les détails sur ces couches supplémentaires sont expliqués précédemment (voir § 3.2.2 relatif aux poutres et dalles mixtes avec bacs acier)

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement

Pour une construction la plus économique possible :

- Utiliser une trame de poutres comprenant une poutre dans l'axe central (si possible) dans un intervalle d'épaisseur situé entre 250 et 350 mm
- Quand des éléments préfabriqués sont utilisés, choisir une portée de l'ordre de 6 à 7,5 m, mais s'assurer que l'épaisseur de la dalle et de la poutre soient compatibles (cela implique normalement une dalle d'une portée plus longue que les poutres)
- Quand des dalles mixtes de forte épaisseur sont utilisées, il faut idéalement une portée de 6 m (pour éviter l'étayage) et assurer un recouvrement de béton de 70 à 90 mm au-dessus du bac. Garder un rapport portée/épaisseur de l'ordre de 20 à 23 pour la dalle.
- Dimensionner les poutres de rive comme poutres de support non mixtes quand l'architecture le permet, sinon utiliser des profilés RHS avec plaques soudées pour une meilleure performance.

3.2.5 Poutres Slimfloor avec dalles mixtes ou éléments en béton préfabriqué

Les poutres Slimfloor sont similaires aux poutres intégrées par le fait que les poutres en acier se situent dans l'épaisseur du plancher. Elles peuvent aussi être utilisées avec des éléments préfabriqués ou des dalles mixtes de forte épaisseur. Les poutres Slimfloor sont constituées de profilés laminés HE ou UKC avec une plaque soudée sur

la partie inférieure. La plaque dépasse d'au moins 100 mm de chaque côté de la section laminée pour supporter les éléments du plancher ou les bacs. Elle a normalement une épaisseur située entre 12 à 15 mm. La hauteur des profilés peut aller jusqu'à 350 mm, mais pour la plupart des applications résidentielles, elle sera comprise entre 200 et 300 mm. Une coupe transversale montrant une poutre Slimfloor avec une dalle mixte et un bac de forte épaisseur est montrée à la Figure 3.9. Les poutres mixtes peuvent aussi être utilisées avec des dalles mixtes, mais elles sont rarement utilisées en Europe et ne sont donc pas présentées dans ce rapport ni incluses dans ACE.

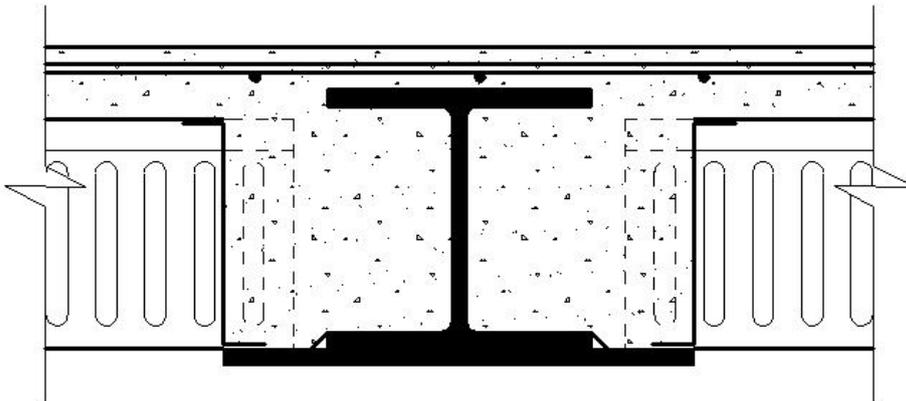


Figure 3.9 Poutre Slimfloor classique supportant une dalle mixte avec bac acier

Toutes les questions relatives aux éléments préfabriqués et aux dalles mixtes épaisses, comme la résistance au feu et les propriétés acoustiques présentées dans la partie sur les poutres intégrées (§ 3.2.4) s'appliquent aux poutres Slimfloor.

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement:

Pour une construction la plus économique possible:

- Utiliser une disposition de poutres impliquant une poutre dans l'axe central (dans la mesure du possible) avec une épaisseur de l'ordre de 200 à 350 mm
- Dimensionner les poutres de rive comme poutres de support non mixtes quand l'architecture le permet, sinon, utiliser des profils RHS avec plaques soudées pour une meilleure performance
- Utiliser des profilés en « T » inversés comme lien entre les colonnes.

3.3 Isolation acoustique

Afin de fournir une performance acoustique adéquate des planchers dans les constructions résidentielles, des revêtements de sols additionnels sont nécessaires. Deux types de systèmes sont les plus souvent utilisés, par couches ou par lattes. Un système multicouche, avec une épaisseur de couche de 40 à 65 mm, reposant sur une couche ayant des propriétés élastiques, par exemple 6 mm de caoutchouc. Un système typique de lattes comprendra des lattes de bois de 45 à 75 mm d'épaisseur disposées sur la dalle et distantes d'environ 450 mm, avec un plancher en aggloméré les recouvrant, comme à la figure 3.10. Les lattes ont une couche de mousse collée sur leur face inférieure, ce qui garantit l'élasticité nécessaire pour l'isolation contre les bruits d'impacts qui proviennent essentiellement des bruits de pas. Le plancher complet, plafond compris, doit être pris en compte lors du dimensionnement de l'isolation acoustique.

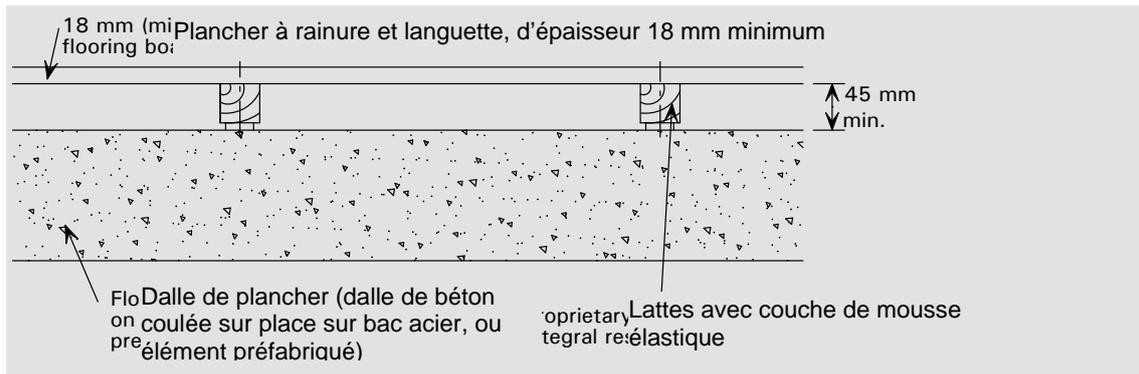


Figure 3.10 Types de sols avec systèmes de lattes sur une dalle mixte

3.4 Toiture

Diverses options peuvent être envisagées pour les toitures lorsque l'on fait appel à la construction métallique. Ces options sont les suivantes :

- Système de combles aménageables conçu pour créer un espace habitable ;
- Pannes en acier positionnées entre des ossatures porteuses ou des murs de refend;
- Cassettes de toit préfabriquées en acier ;
- Panneaux mixtes (pour des portées de 6 m maximum).

Les toitures en acier peuvent être fabriquées selon un large éventail de formes, y compris des formes cintrées et polygonales. Les revêtements métalliques conviennent pour les toits de faibles hauteurs et les formes cintrées.

Les deux points principaux à considérer sont la direction de la portée du toit et le niveau d'isolation thermique. Les portées du toit peuvent aussi bien être:

- De façade à façade, avec des portées de 8 à 12 m;
- Entre des murs de refend avec des portées de 5 à 8 m.

Dans le premier cas, on préfère utiliser une ferme traditionnelle, mais dans le second cas, des pannes ou autres systèmes permettent d'exploiter l'espace de toiture. La Figure 3.11. montre un système de toiture en acier "ouvert", permettant la réalisation de combles aménageables.

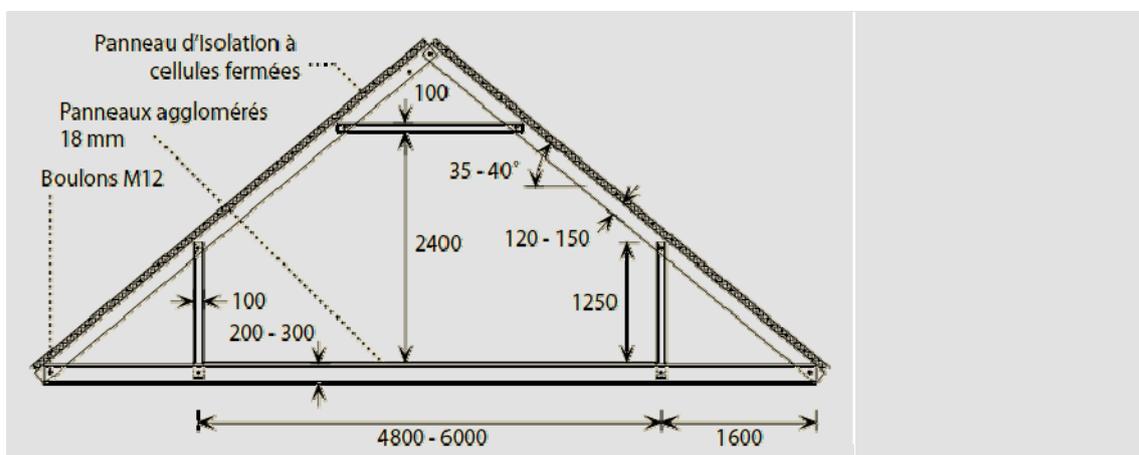


Figure 3.11 Système classique de toiture "ouverte" en acier utilisant des profilés formés à froid

Pour les toitures, le niveau d'isolation thermique exigé est habituellement élevé (valeurs $U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) et par conséquent l'épaisseur totale de l'isolation thermique peut atteindre 150 mm. La plus grande partie de l'isolation est placée à l'extérieur de la toiture en acier, c'est-à-dire des fermes ou des pannes, mais on peut placer jusqu'à 30% de l'isolation entre les éléments en acier sans risque de condensation. Les panneaux mixtes peuvent être fabriqués avec un revêtement attractif (ex , aspect de tuiles). Des panneaux photovoltaïques ou des collecteurs thermiques peuvent être aisément fixés sur l'habillage en acier et son ossature secondaire.

3.5 Sécurité incendie

La sécurité incendie dans les bâtiments résidentiels couvre un certain nombre de facteurs comme : les issues de secours, la prévention de la propagation du feu, la stabilité des ossatures et l'existence de moyens efficaces de lutte contre le feu. Les exigences relatives à la stabilité des ossatures et aux compartiments sont habituellement exprimées en termes de "résistance au feu" des éléments structuraux.

La résistance au feu est basée, pour des raisons d'étalonnage, sur les résultats d'essais au feu normalisés. Elle est exprimée par paliers de 30 minutes.

Pour la plupart des bâtiments résidentiels, une résistance au feu de 30 minutes minimum est exigée, celle-ci est portée à 60 minutes pour des murs séparatifs, selon les règles nationales.

Les bâtiments de grande hauteur peuvent exiger une résistance au feu de 90 minutes, principalement pour des raisons de stabilité de l'ossature et d'efficacité de lutte contre le feu. En général, pour les murs et les planchers, les mesures adoptées pour obtenir une isolation acoustique satisfaisante permettent également d'obtenir une résistance au feu d'au moins 60 minutes.

La sécurité au feu des poutres peut être réalisée avec des panneaux, par spray ou par revêtements intumescents. Différents conseils sont donnés à ce sujet dans les chapitres décrivant le système de plancher spécifique (voir §3.2.2 à 3.2.5). La protection incendie pour les poteaux est en général réalisée à l'aide de panneaux pour des raisons esthétiques, avec des épaisseurs en général de :

- 15 mm pour une résistance au feu jusqu'à de 60 minutes
- 25 mm pour une résistance au feu de 90 minutes.

4 BATIMENTS COMMERCIAUX MULTI-ETAGES A OSSATURE METALLIQUE

4.1 Options structurelles

Les options de structures pour les bâtiments commerciaux de plusieurs étages sont similaires à celles pour les bâtiments résidentiels de plusieurs étages en termes de contreventement et de stabilité, comme décrit en partie 3.1. Cependant, elles diffèrent par les dimensions des trames ; les charges et les hauteurs de plancher à plancher sont plus élevées dans les bâtiments commerciaux, en plus des différences concernant les exigences spatiales et architecturales les dispositions. La plupart des bâtiments nécessitent des portées de plancher supérieures à 12 m, et la tendance s'oriente vers des portées de 15-18 m sans poteaux intermédiaires. Les zones de planchers dans les bâtiments commerciaux doivent intégrer les équipements techniques, et avec un système de plancher avec de longues portées et des poutres relativement hautes, il est important de considérer l'intégration des équipements techniques dans les planchers dès la conception. Les hauteurs sous plafond sont en général de 4,2 m. Les charges caractéristiques imposées pour les bâtiments commerciaux sont de 3 à 5 kN/m². Les principes structuraux concernant la conception des charpentes, contreventements et connexions, comme présentés dans la partie 3.1, s'appliquent aussi pour les bâtiments commerciaux.

4.1.1 Poteaux

Les poteaux et autres éléments porteurs verticaux de la structure sont généralement conçus pour avoir un impact minimal sur l'espace utile du bâtiment et sont donc de la plus petite taille possible. La dimension des poteaux dépend évidemment de la hauteur du bâtiment et de la surface de plancher supportée, mais en pratique les poteaux de type H sont le plus souvent utilisés.

Les profilés en H sont généralement orientés de façon à ce que les plus grandes poutres (primaires) de la structure reposent sur l'aile du poteau, ce qui simplifie considérablement les détails de connexion. Les profilés en H sont la solution la plus simple pour les poteaux. Une série de colonnes de même taille est normalement choisie pour tous les étages, même si le poids des profilés peut varier. Cette approche simplifie les jonctions entre colonnes. Pour un montage économique et pratique, les poteaux sont disposés à des distances équivalant à 2 ou 3 fois la hauteur sous plafond. Deux tableaux de dimensionnement pour les poteaux HE et UC son présentés à la Table 4.1 et à la Table 4.2. Une charge imposée de 4 kN/m² est utilisé en même temps qu'une charge totale permanente (incluant le poids propre) de 4 kN/m². La hauteur sous plafond est de 4 m.

Table 4.1 Profilés caractéristiques pour des ossatures contreventées avec poteaux HE (les dimensions indiquées concernent des poteaux de petites longueurs, avec réduction de masse pour les plus grandes longueurs)

Nombre d'étages	Disposition des poteaux			
	6 × 6 m	6 × 9 m	6 × 12 m	6 × 15 m
4	HE 220 B	HE 280 B	HE 240 M	HE 260 M
6	HE 280 B	HE 240 M	HE 260 B	HE 300 M
8	HE 300 B	HE 260 M	HE 300 M	HE 320 M
10	HE 240 M	HE 300 M	HE 320 M	HD 400 x 347

Tout en acier S355; charge imposée = 3 kN/m² plus 1 kN/m² pour les cloisons

Table 4.2 Profilés caractéristiques pour des ossatures contreventées avec poteaux UC (les dimensions indiquées concernent des poteaux de petites longueurs, avec réduction de masse pour les plus grandes longueurs)

Nombre d'étages	Disposition des poteaux			
	6 × 6 m	6 × 9 m	6 × 12 m	6 × 15 m
4	203 UC 86 S275	254 UC 132 S275	254 UC 167 S275	305 UC 198 S275
6	254 UC 132 S275	254 UC 167 S275	305 UC 198 S275	305 UC 240 S355
8	305 UC 240 S275	305 UC 198 S275	305 UC 240 S355	356 UC 235 S355
10	305 UC 198 S275	305 UC 240 S355	356 UC 340 S355	356 UC 340 S355

Nuance d'acier comme indiqué; charge imposée = 3 kN/m² plus 1 kN/m² pour les cloisons

4.2 Mise en œuvre du plancher et chargement

Ce chapitre donne des détails sur le chargement, l'intégration des équipements techniques et décrit différents systèmes de plancher souvent utilisés dans les bâtiments commerciaux à plusieurs étages. Les principales caractéristiques de chaque type de plancher sont décrites, avec des indications sur les principales questions de conception. Ces systèmes sont similaires à ceux utilisés dans les bâtiments résidentiels, mais les portées ont tendance à être plus grandes dans les bâtiments commerciaux, et les revêtements acoustiques spéciaux pour les planchers ne sont normalement pas nécessaires.

4.2.1 Charges au sol

Le chargement des structures est couvert par l'EN1991 - Eurocode 1 "Actions sur les structures". Les valeurs recommandées pour les charges imposées sont données dans la partie 1-1, et pour les charges en cas d'incendie dans la partie 1-2. Les actions en phase de construction peuvent être trouvées dans la partie 1-6. Le poids propre des planchers et de la structure, ainsi qu'une charge additionnelle de 0,7 kN/m² doivent être pris en compte pour les faux-planchers, les plafonds et les équipements techniques du bâtiment. Le tableau 4.3 présente les poids propres caractéristiques d'éléments utilisés dans les bâtiments à plusieurs étages.

Table 4.3 Poids propres caractéristiques d'éléments de construction

Élément	Poids caractéristiques
Éléments préfabriqués (portée 6 m, conçus pour une surcharge de 5 kN/m ²)	3 à 4,5 kN/m ²
Dalle mixte (béton normal, 130 mm d'épaisseur)	2,6 à 3,2 kN/m ²
Dalle mixte (béton allégé, 130 mm d'épaisseur)	2,1 à 2,5 kN/m ²
Équipements techniques	0,25 kN/m ²
Plafonds	0,1 kN/m ²

Les charges imposées varient selon l'utilisation de chaque zone spécifique de plancher considérée - par exemple, des valeurs différentes sont appliquées pour une zone de production ou une aire de stockage. L'EN1991-1-1 donne des charges de planchers imposées minimum pour différentes utilisations du bâtiment. Pour les bureaux, la charge de calcul imposée est égale à 3 kN/m². De plus, une charge supplémentaire

allant jusqu'à 1 kN/m^2 peut être ajoutée pour les cloisons amovibles. Pour les aires de stockage, une valeur plus élevée de 5 kN/m^2 peut être considérée.

4.2.2 Intégration des équipements techniques

La plupart des bâtiments commerciaux nécessitent certains types de systèmes de ventilation mécanique et d'air conditionné. Leur prise en compte est d'une importance capitale, car ceci affecte la disposition et le type d'éléments choisis pour la structure. Dans un premier temps, il faut choisir soit d'intégrer les équipements techniques dans la hauteur des poutres, soit de les placer en dessous des poutres. Généralement, un espace de 450 mm permet de placer les équipements techniques sous les poutres. Un espace supplémentaire de 15 à 200 mm est souvent prévu pour la protection incendie, le plafond et l'éclairage, et 25 à 50 mm pour la flèche.

Différentes solutions d'intégration des équipements techniques sont illustrées à la figure 4.1, où la partie structurale est cotée '1' et la zone technique '2'.

Les configurations représentent :

- une séparation complète de la zone technique et de la structure (figure 4.1a),
- une séparation partielle où certains équipements techniques passent à travers les ouvertures dans l'âme des poutres (figure 4.1b), et
- une intégration complète des équipements techniques, où les équipements techniques sont entièrement compris dans la partie structurale (figure 4.1c).

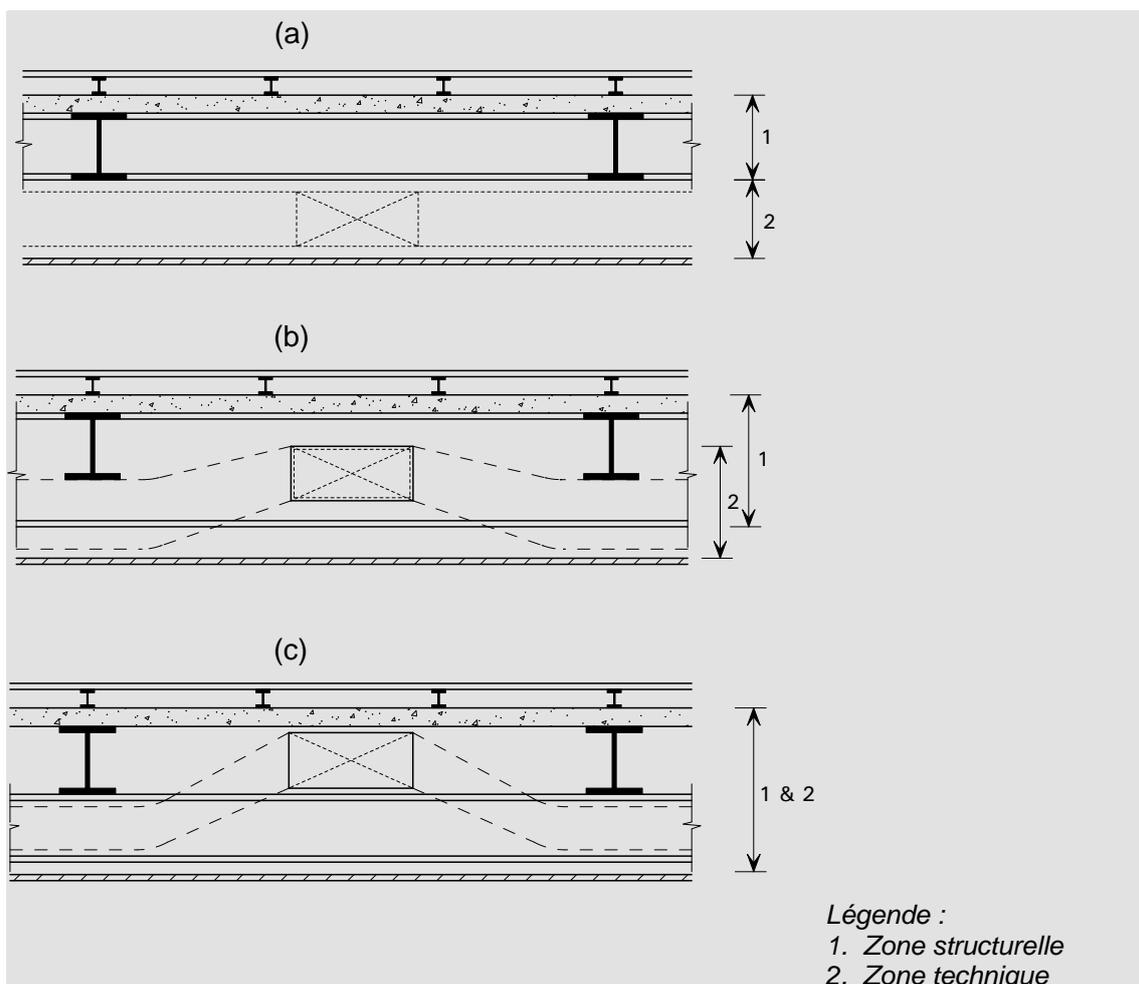


Figure 4.1 Possibilités d'intégration des équipements techniques

4.2.3 Poutres mixtes de faible portée sans ouverture dans l'âme, et dalles mixtes

Les poutres mixtes et les dalles avec bac acier et béton coulé sur place sont très utilisées dans la construction de bâtiments commerciaux en acier. Les poutres mixtes de faible portée, jusqu'à 7,5 m de portée, peuvent fournir des planchers relativement peu épais ne nécessitant pas le passage des équipements techniques à travers l'âme des poutres.

Les dalles mixtes avec des tôles profilées de 50 à 80 mm de profondeur, appropriées pour les bâtiments résidentiels, conviennent aussi pour les bâtiments commerciaux, et les détails et les capacités de portées sont présentés au chapitre 3.2.2. Cependant, les exigences acoustiques sont moins sévères pour les bâtiments commerciaux, ainsi les traitements de sols spécifiques requis pour les bâtiments résidentiels peuvent être négligés. Les capacités de portées des tôles profilées et des dalles mixtes peuvent être vérifiées en utilisant les tableaux 3.2 et 3.3. Les dalles de 3 à 4 m de portée sont les plus fréquentes, menant à des épaisseurs caractéristiques de dalle de 130 à 150 mm. Les poutres secondaires doivent être suffisamment rapprochées pour éviter l'étaiyage des tôles profilées, l'étaiyage pouvant être coûteux et encombrant sur chantier. Les poutres de rive peuvent être dimensionnées non-mixtes, bien que des connecteurs soient nécessaires pour transférer les charges dues au vent au plancher, et lui permettant d'agir comme un grand diaphragme.

Un treillis de renforcement est placé dans la dalle afin d'améliorer sa résistance au feu, d'agir comme une armature transversale et de minimiser les fissures. La dimension du treillis dépend de la résistance au feu exigée et si la dalle est étayée ou pas. Le béton léger est souvent utilisé pour la construction mixte au Royaume-Uni, mais ce n'est pas réalisable partout en Europe.

Pour les poutres primaires et secondaires entre 6 et 7,5 m de portée, les épaisseurs classiques de la poutre devraient être de 300 à 350 mm, avec une zone de plancher hors tout de 800 mm pour l'équipement d'éclairage, et d'environ 1200 mm avec un conduit de 400 mm pour l'air conditionné sous la poutre (voir figure 4.2.)

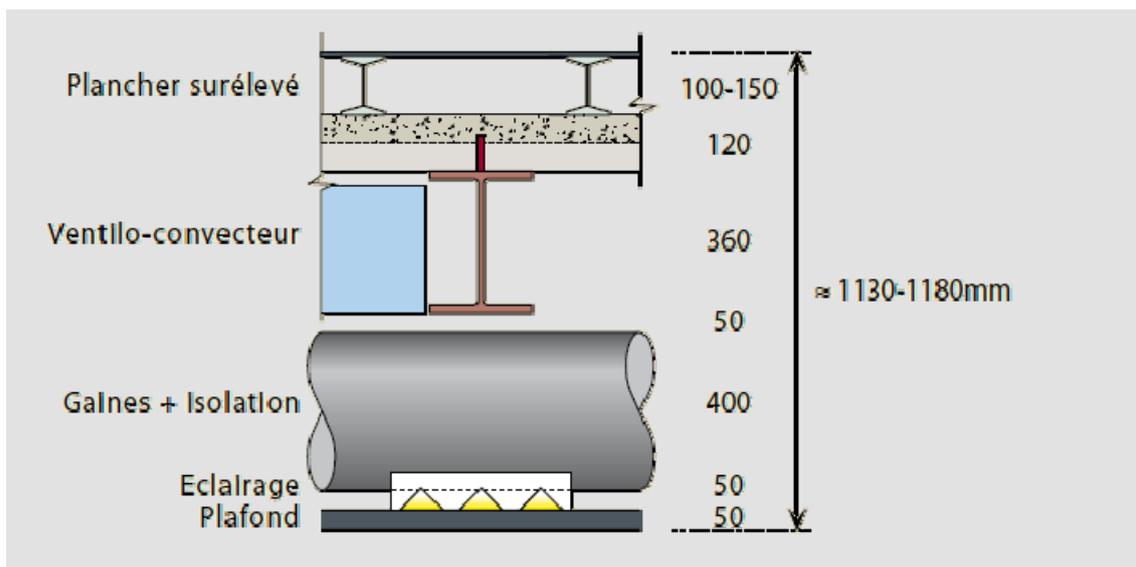


Figure 4.2 Espace de plancher hors tout – Construction mixte caractéristique pour faible portée

Une configuration typique de poutres pour un bâtiment commercial est illustrée à la Figure 4.3.

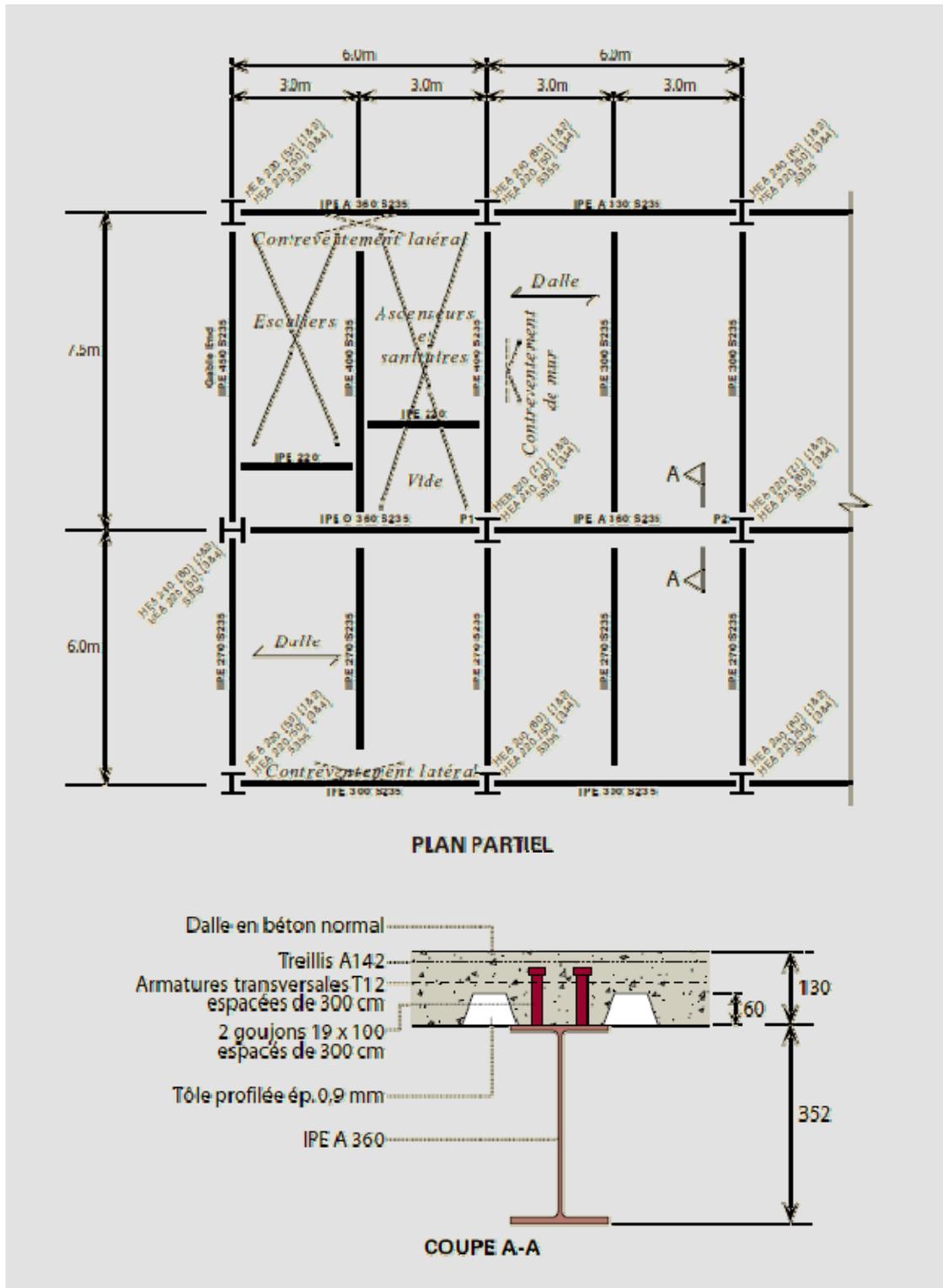


Figure 4.3 Poutre mixte de faible portée – Exemple de configuration de plancher en acier pour un bâtiment de 4 étages à trame rectangulaire

La protection incendie pour les poutres est (généralement):

- revêtement intumescent : 1,5 mm d'épaisseur pour une résistance au feu jusqu'à 90 minutes
- panneaux : 15 à 25 mm d'épaisseur jusqu'à 90 minutes

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement :

Pour une construction rentable,

- garantir une dalle en béton d'épaisseur comprise entre 130 et 150 mm
- garantir des poutres secondaires en S275 d'une portée de 6 à 15 m espacées de 3 m environ, et des poutres primaires en S355 d'une portée égale à 2 ou 3 fois l'espace entre les poutres secondaires
- choisir la profondeur et l'épaisseur de la tôle profilée, et les armatures pour satisfaire aux exigences de chargement et à la résistance au feu pour la portée (sans nécessité d'étayage) – en utilisant les tables de dimensionnement ou les logiciels du fabricant
- garantir une poutre secondaire d'une épaisseur égale à la portée/24, et une poutre primaire d'une épaisseur égale à la portée/18
- garantir un espacement entre les connecteurs de 300 mm pour les poutres secondaires et de 150 mm pour les poutres primaires.

4.2.4 Poutres mixtes à grande portée avec ouvertures dans l'âme et dalles mixtes

Les poutres mixtes à grande portée offrent une solution de plancher performante avec de larges espaces entre les colonnes. Les équipements techniques peuvent passer à travers les ouvertures de l'âme grâce à la hauteur des sections, ce qui réduit la hauteur des planchers. Le système se compose de poutres mixtes à base de profilés laminés ou reconstitués supportant une dalle mixte.

Les trames sont constituées :

- soit de poutres secondaires à grande portée de 9 à 15 m (cas typique) espacées de 3 à 4 m supportant la dalle, celles sont supportées par des poutres principales de faible portée de 6 à 7,5 m,
- soit de poutres secondaires de petite portée (6 à 9 m de portée) supportées par des poutres principales de grande portée.

Les dalles mixtes sont, comme pour les poutres mixtes, à faible portée, et comme précédemment, les poutres secondaires doivent être suffisamment rapprochées pour éviter l'étayage des tôles profilées.

Les ouvertures dans l'âme peuvent être circulaires, allongées ou de forme rectangulaire, et peuvent aller jusqu'à 80% de la hauteur de la poutre. Les ouvertures doivent être localisées dans les zones où le cisaillement est faible, et des raidisseurs d'âmes peuvent être nécessaires près des grandes ouvertures. En général, elles peuvent avoir un rapport longueur/hauteur jusqu'à 3,5.

Les hauteurs classiques de plancher sont de 1000 mm pour 13,5 m de portée (avec des ouvertures de 350 mm) et de 1100 mm pour 15 m de portée (avec des ouvertures de 400 mm).

La protection incendie peut être réalisée avec des panneaux ou des revêtements intumescents. Les revêtements intumescents peuvent être appliqués hors site en une seule couche jusqu'à 1,8 mm d'épaisseur pour atteindre 90 minutes de résistance au feu.

Un exemple de bâtiment avec une trame constituée de poutres secondaires de grande portée et avec ouvertures dans l'âme est illustré à la figure 4.4.

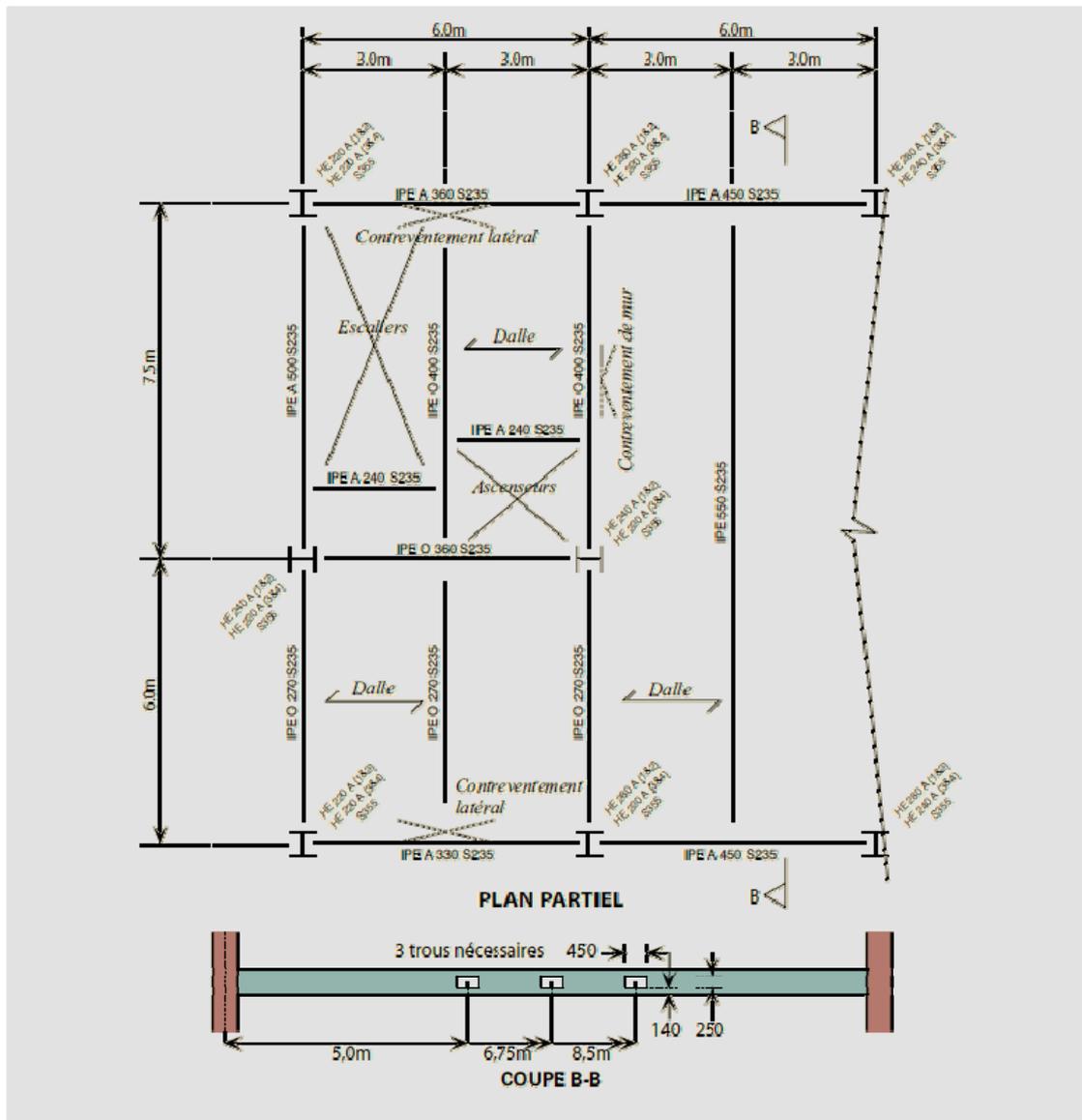


Figure 4.4 Poutres mixtes de grande portée (à ouvertures rectangulaires dans l'âme)

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement :

Pour une construction rentable,

- garantir une dalle en béton d'épaisseur comprise entre 130 et 150 mm
- garantir des poutres secondaires en S275 d'une portée de 9 à 15 m espacées de 3-4 m environ, et des poutres primaires en S355 d'une portée de 6 à 9 m

- choisir la profondeur et l'épaisseur de la tôle profilée, et les armatures pour satisfaire aux exigences de chargement et à la résistance au feu pour la portée (sans nécessité d'étayage) – en utilisant les tables de dimensionnement ou les logiciels du fabricant
- garantir une poutre secondaire d'une épaisseur égale à la portée/22, et une poutre primaire d'une épaisseur égale à la portée/18
- garantir un espacement entre les connecteurs de 300 mm pour les poutres secondaires et de 150 mm pour les poutres primaires.

4.2.5 Poutres cellulaires mixtes et dalles mixtes

Une méthode de découpe et des techniques de fabrications modernes ont été utilisées pour produire des poutres avec des ouvertures de forme régulière répétées sur toute leur longueur. Bien que cela ait déjà été réalisé dans le passé pour produire des poutres alvéolaires à ouvertures hexagonales, ou 'alvéoles', des techniques modernes sont utilisées pour réaliser de façon répétée des alvéoles circulaires, allongées ou rectangulaires. Ces poutres sont connues sous le nom de poutres cellulaires et sont devenues très populaires dans la construction de poutres à grande portée grâce à la réalisation judicieuse d'ouvertures permettant le passage de conduits circulaires, et aussi grâce à leur attrait esthétique.

Les poutres cellulaires peuvent être réalisées par un découpage automatique et resoudage de profilés laminés à chaud, ou par la fabrication directe à partir de plaques. L'usage de la découpe et de la soudure est le procédé permettant de fabriquer des poutres à partir d'éléments de différentes dimensions en partie inférieure et supérieure (à partir de sections différentes) afin d'obtenir un rendement maximum. Cependant, la gamme des dimensions et l'espacement des ouvertures ordinaires pour les poutres réalisées de cette manière sont limitée par le procédé de découpage et de resoudage. Un exemple de poutre cellulaire réalisée à partir de deux sections différentes est montré à la figure 4.5.

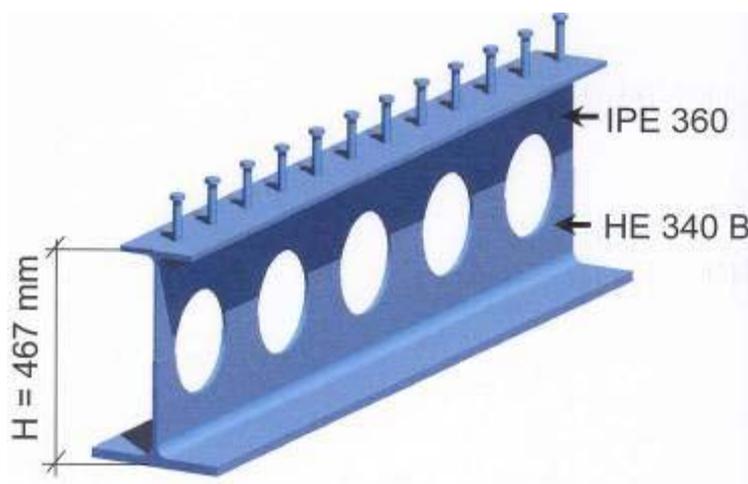


Figure 4.5 Poutre cellulaire mixte non symétrique

Les ouvertures peuvent être obturées près des appuis, ou à l'endroit de charges ponctuelles, où il y a beaucoup de cisaillement. Des ouvertures allongées peuvent être prévues dans la poutre dans les zones de cisaillement faible. Une autre particularité du procédé de découpe et de resoudage est que les poutres peuvent être pré-fléchies sans coûts additionnels. Par conséquent, la limite de déformation totale n'est pas forcément critique, ce qui entraîne une poutre plus légère que ce qui est réalisable dans d'autres schémas à longue portée.

Les ouvertures dans l'âme permettent aux conduits de passer à travers les poutres, comme le montre la figure 4.6. Une grande partie des équipements techniques se trouve entre les poutres. Les ouvertures peuvent être de 60 à 80% de la hauteur de la poutre et la dimension des ouvertures doit tenir compte d'une isolation quelconque des équipements techniques. Les ouvertures allongées peuvent nécessiter l'installation de raidisseurs. La fabrication devra être organisée afin de garantir l'alignement des ouvertures dans l'âme par les poutres tout le long du bâtiment.



Figure 4.6 Poutres cellulaires secondaires de longue portée, avec conduits passant au travers des ouvertures circulaires

La dimension hors tout d'un plancher est en général comprise entre 1000 mm et 1200 mm. Un plancher classique sera de 1000 mm pour des poutres d'une portée de 15 m avec des ouvertures régulières de 400 mm, ce qui est beaucoup moins épais que dans le cas où les gaines passent sous les poutres (figure 4.7).

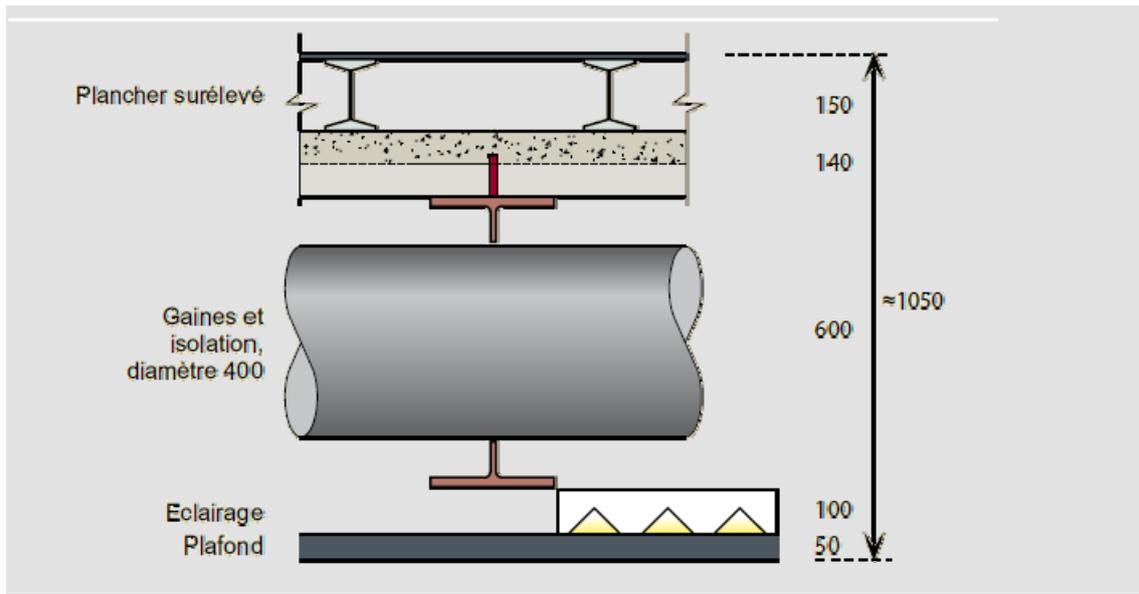


Figure 4.7 Poutre cellulaire – Section transversale classique montrant l'intégration des équipements techniques

Les poutres cellulaires peuvent être disposées en temps que poutre secondaire de grande portée, supportant directement la dalle de sol, ou en temps que poutres primaires de grande portée supportant d'autres poutres cellulaires ou des poutres secondaires en sections I. Les portées classiques varient entre 10 et 18 m pour les poutres cellulaires secondaires espacées de 3 à 4 m, et entre 9 et 12 m comme poutres primaires. Les poutres secondaires doivent être disposées de façon suffisamment proche pour éviter l'étaiyage des tôles profilées. Les tôles profilées classiques en acier ont une profondeur égale à la portée/22 pour les poutres secondaires, et à la portée/18 pour les poutres primaires. L'acier S355 est préféré pour les poutres cellulaires à cause des effets des contraintes locales importantes autour des ouvertures.

Les poutres cellulaires se prêtent facilement à une protection incendie par projection d'un revêtement intumescent sur site ou hors site. L'application hors site de protections intumescentes peut coûter plus cher, mais peut offrir un gain de temps lors de la construction et permettre une meilleure qualité de contrôle de l'épaisseur du revêtement. Une épaisseur de 1,5 à 2 mm de revêtement intumescent peut être appliquée sur site. Une protection incendie plus importante que celle pour un profilé équivalent sans ouvertures peut être nécessaire, car le facteur de massivité d'une section cellulaire est plus élevé.

Un plan typique d'une construction à grande portée utilisant des poutres cellulaire est montré à la figure 4.8.

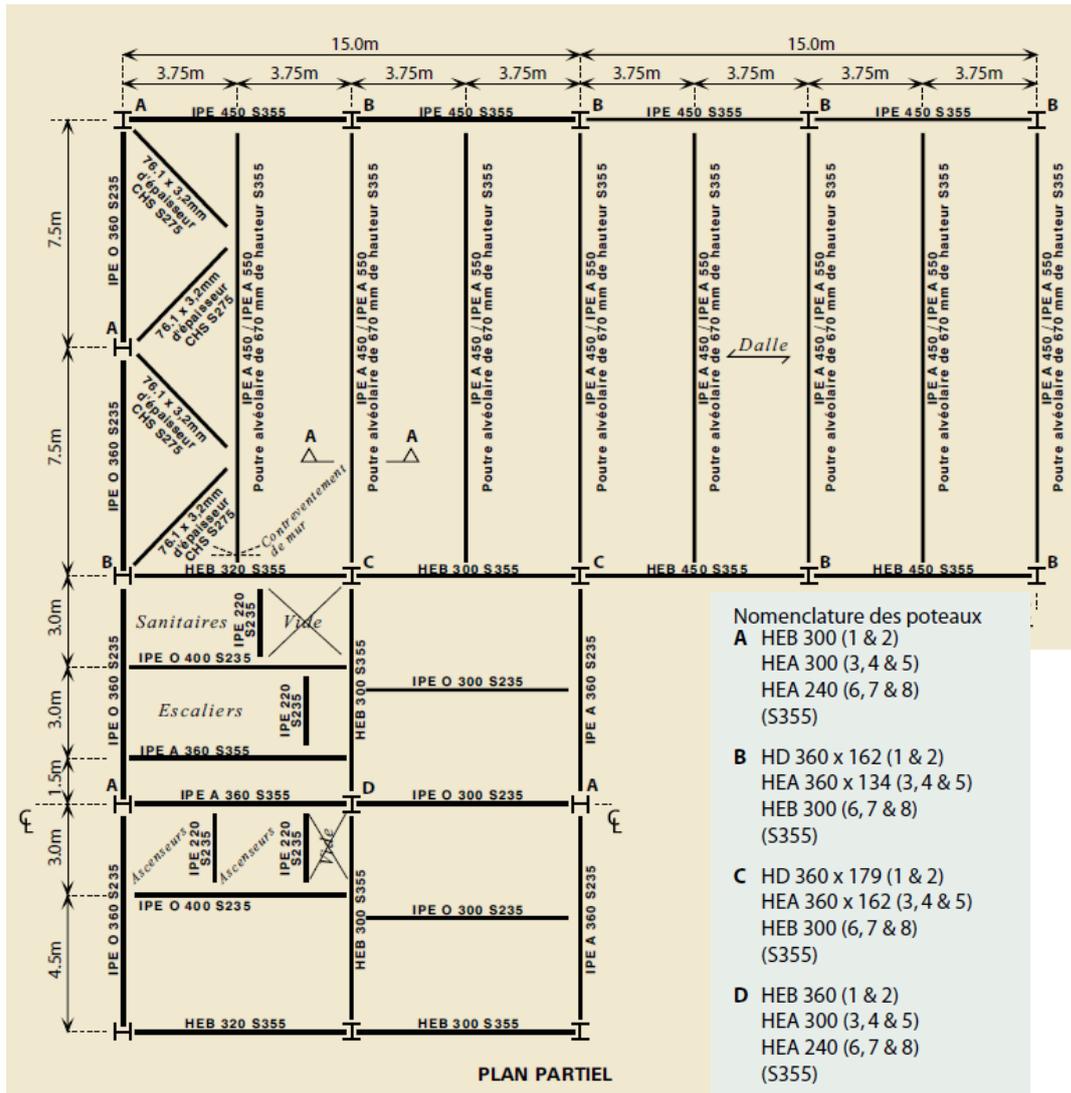


Figure 4.8 Poutres cellulaires (poutres secondaires de grande portée) – Exemple de disposition d'un angle d'un bâtiment de 8 étages avec un atrium

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement :

Pour une construction rentable,

- garantir une dalle en béton d'épaisseur comprise entre 130 et 150 mm
- garantir des poutres secondaires en S355 d'une portée de 10 à 18 m espacées de 3-4 m environ, et des poutres primaires en S355 d'une portée de 9 à 12 m espacées de 6-9 m
- choisir la profondeur et l'épaisseur de la tôle profilée, et les armatures pour satisfaire aux exigences de chargement et à la résistance au feu pour la portée (sans nécessité d'étayage) – en utilisant les tables de dimensionnement ou les logiciels du fabricant
- garantir une poutre secondaire d'une épaisseur égale à la portée/22, et une poutre primaire d'une épaisseur égale à la portée/18
- garantir un espacement entre les connecteurs de 300 mm pour les poutres secondaires et de 150 mm pour les poutres primaires.

4.2.6 Poutres non mixtes portantes avec éléments préfabriqués

Le système de poutres non mixtes et éléments préfabriqués utilisé pour les bâtiments résidentiels (présenté à la partie 3.2.3) s'applique aussi aux bâtiments commerciaux, mais les portées tendent à être beaucoup plus grandes dans les bâtiments commerciaux. Les éléments préfabriqués sont supportés par la semelle supérieure des poutres métalliques ou par des cornières. Les cornières sont boulonnées ou soudées sur l'âme de la poutre, avec assise d'une largeur suffisante pour assurer un appui adéquat de l'élément préfabriqué et pour faciliter sa mise en place, comme illustré à la figure 4.9. Les cornières sont utilisées pour réduire la hauteur totale du plancher, mais certains dégagements sont nécessaires pour permettre le montage des éléments, comme illustré à la figure 4.10. La longueur des éléments doit être telle qu'il y ait 25 mm de jeu pour la mise en place. La largeur minimum recommandée de la semelle supérieure est de 180 mm, pour assurer le support des éléments en toute sécurité et un jeu qui pourra être rempli ultérieurement. Les portées disponibles sont reprises au tableau 4.4. Pour une trame classique, la hauteur totale du plancher est environ de 800 mm, comprenant un faux plafond suspendu.

Les poutres seront plus trapues que les poutres mixtes, et le rapport classique portée/épaisseur sera de 15. La dimension minimale pour un support adéquat correspond à un IPE400. Comme avec les poutres mixtes, il y aura une torsion importante en phase de construction, et ainsi des maintiens provisoires peuvent être nécessaires pour empêcher le déversement. Les connections sont constituées de plaques d'about épaissies sur toute la hauteur.

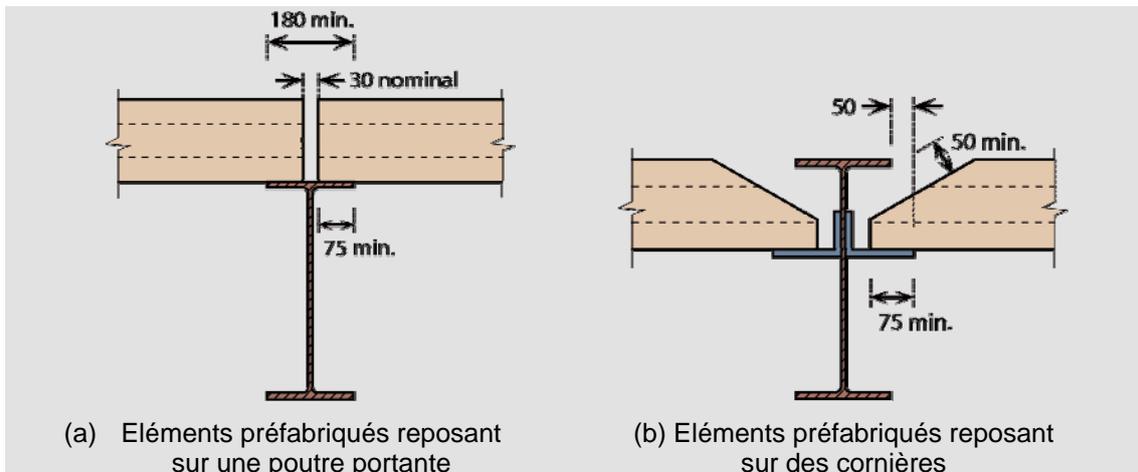


Figure 4.9 Plancher constitué d'éléments préfabriqués non mixtes

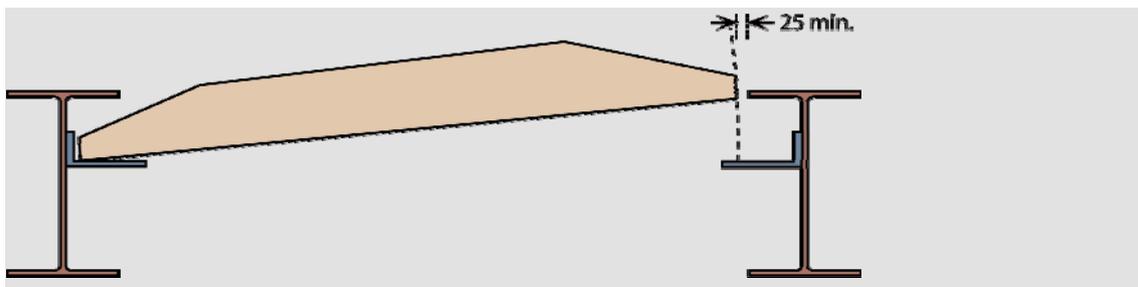


Figure 4.10 Exigences pour la pose d'éléments préfabriqués sur des cornières

Table 4.4 Portées classiques pour hourdis

Épaisseur du hourdi (mm)	Portée (m)	Surcharge (kN/m ²)
150	6	3,5
200	7,5	3,5
250	9	5,0

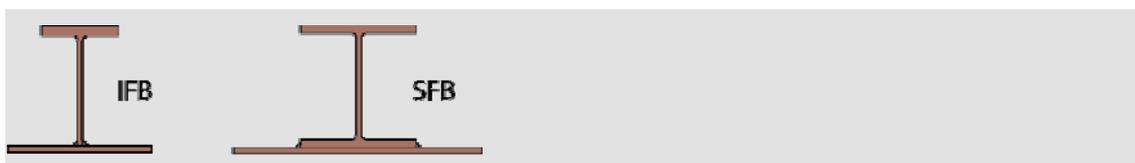
Suggestion pour la stratégie de dimensionnement :

Pour une construction rentable,

- Choisir une trame de 6 à 7,5 m de portée
- Choisir des éléments préfabriqués dont les données du fabricant correspondent à la résistance au feu exacte; normalement d'une épaisseur de 150 et 200 mm pour des éléments respectivement de 6 m et 7,5 m
- Envisager des cornières si l'épaisseur du plancher est prépondérante
- Concevoir des poutres en se basant sur le rapport portée/épaisseur de 15, et une largeur de semelle de 180 mm (IPE400 minimum)
- Vérifier les conditions de chargement dissymétrique des éléments précontraints en phase de montage, ou tenir compte d'un étayage temporaire.

4.2.7 Poutres intégrées ou planchers minces avec dalles mixtes ou éléments préfabriqués

Les poutres de plancher intégrées conviennent aussi bien pour les bâtiments commerciaux que pour les bâtiments résidentiels. Ce sont des systèmes de planchers peu épais constitués de poutres asymétriques supportant des éléments en béton préfabriqués, tels que les hourdis, ou les dalles mixtes avec bacs en acier. Les poutres sont normalement fabriquées soit en utilisant un élément en T, obtenu par la découpe d'un profilé IPE ou HE en deux parties égales en T, et en soudant une plaque sur l'âme (IFB), soit en soudant une plaque sous la semelle inférieure du profilé laminé (SFB), comme illustré à la figure 4.11.

**Figure 4.11 Poutres intégrées classiques avec système de plancher**

Les particularités de ce système sont expliquées en détails à la partie 3.2.4 sur les poutres intégrées pour les bâtiments résidentiels, et les indications peuvent être appliquées pour les bâtiments commerciaux – excepté que les couches acoustiques sur les planchers ne sont normalement pas requises.

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement :

Pour une construction rentable,

- Adopter une disposition de poutre impliquant une poutre centrale maîtresse (quand c'est possible) dans des hauteurs limites comprises entre 250 et 300 mm.
- Là où des éléments en béton préfabriqué sont utilisés, choisir des éléments d'une portée comprise entre 6 et 7,5 m mais veiller à ce que l'épaisseur de la dalle et la hauteur de la poutre soient compatibles (ceci impliquera normalement un élément

préfabriqué d'une portée supérieure à celle de la poutre). Une chape de béton est recommandée pour une bonne performance dynamique.

- Là où de grandes dalles sont utilisées, limiter la portée de la dalle idéalement à 6 m (pour éviter un étayage) et garantir 70 à 90 mm de béton de recouvrement sur le profilé de plancher. Maintenir le rapport portée/épaisseur de la dalle dans un intervalle de 20 à 23.
- Dimensionner les poutres de rives comme poutres de support non-mixtes là où l'architecture le permet, sinon utiliser des éléments RHS avec une plaque soudée pour une meilleure résistance à la torsion en phase de montage.
- Utiliser un profilé en "T" renversé comme lien entre les colonnes.

4.3 Toiture

Les types de toitures pour les bâtiments commerciaux varient considérablement. Les toitures plates sont courantes, et facilitent l'accès. Les planchers en acier et les dalles mixtes sont utilisables de ce cas. On adopte habituellement des structures légères pour les usines et les mécanismes d'ascenseurs, avec des poutres de plancher plus épaisses conçues pour ces zones afin de supporter les équipements. Les structures métalliques en pente et de type Mansard (voir figure 5.7 (g)) sont également fréquentes, mais il existe aussi de nombreux concepts particuliers pour créer un impact architectural.

4.4 Sécurité incendie

La sécurité incendie et les mesures de protections sont généralement plus strictes pour les bâtiments commerciaux que pour les bâtiments résidentiels car les temps de résistance au feu exigés sont plus grands (60 à 120 minutes)

Les concepteurs doivent tenir compte de la sécurité au feu lorsqu'ils établissent la disposition ou le choix de la configuration structurelle et doivent se poser les questions telles que :

- Moyens d'évacuation.
- Taille des compartiments.
- Accès & Commodité des équipements incendie.
- Limiter la propagation du feu.
- Détection et évacuation des fumées.
- Installation d'un système d'arrosage automatique pour limiter l'incendie et en maîtriser la gravité.
- Protection au feu passive

La performance de la structure en cas d'incendie doit répondre aux normes prescrites, habituellement exprimée en termes de période de résistance au feu des éléments de la structure. Comme alternative, une approche d'«ingénierie du feu» peut être suivie, qui évalue la sécurité au feu de l'ensemble du bâtiment. Cette approche considère le développement de feu naturel, le type d'utilisation du bâtiment et les mesures actives présentes afin de réduire le risque d'un incendie sévère.

En général, l'ingénieur doit tenir compte de :

- la possibilité d'utiliser de l'acier non protégé par une étude d'ingénierie au feu, en considérant le développement et l'intensité du feu naturel,
- les systèmes tels que les poteaux partiellement enrobés et les poutres intégrées, qui ne nécessitent pas de protection au feu,
- l'influence de l'intégration des équipements techniques dans le choix du système de protection au feu, ainsi que des solutions hors site, comme l'utilisation de revêtements intumescents,
- l'influence de la mise en œuvre sur chantier de la protection incendie sur le programme de montage
- l'aspect esthétique des éléments en acier apparents lors du choix du système de protection au feu

Un système utilisant moins de poutres mais plus lourdes peut entraîner une économie en protection au feu.

5 BATIMENTS INDUSTRIELS A STRUCTURE METALLIQUE

5.1 Concept de dimensionnement et configuration des bâtiments industriels

Le développement d'une solution de conception pour un bâtiment à un niveau, tel qu'une grande enceinte ou une installation industrielle, dépend plus du type d'activité exercé et des futurs besoins d'espace que pour d'autres types de bâtiments, tels que les bâtiments commerciaux et résidentiels. Bien que ces types de bâtiments soient essentiellement fonctionnels, ils sont généralement conçus avec un caractère architectural important dicté par les exigences de l'urbanisme et de l'étiquette du client. Avant de dimensionner en détail un bâtiment industriel, il est indispensable de prendre en compte de nombreux aspects tels que:

- Optimisation de l'espace
- Rapidité de construction
- Accès et la sécurité
- Flexibilité d'utilisation
- Standardisation des composants
- Infrastructure d'approvisionnement
- Intégration des équipements techniques
- Aménagement du paysage
- Esthétique et l'impact visuel
- Isolation acoustique
- Etanchéité relative aux intempéries
- Sécurité incendie
- Durée de vie
- Aspects du développement durable
- Fin de vie et réutilisation.

L'importance de chacune de ces considérations dépend du type de bâtiment. Par exemple, les exigences concernant un centre de distribution seront différentes de celles d'un site de production.

Dans les zones fortement peuplées, la forme de la structure peut être influencée par le besoin d'un parking, et plus particulièrement la nécessité d'intégrer les aires de stationnement dans la structure du bâtiment. Différents concepts de parking sont présentés à la figure 5.1, où la solution indiquée pour un parking extérieur est illustré en (a), et d'autres solutions de parking intégré au bâtiment sont présentées en (b), (c) et (d).



Figure 5.1 Différentes options de parkings

De plus en plus, de plus grands bâtiments industriels sont conçus pour un usage mixte, c'est-à-dire que, dans la plupart des cas, une zone de bureaux et/ou de salles pour les employés sont prévus. Il y a différents emplacements possibles pour ces espaces et utilisations supplémentaires. La figure 5.2 montre des exemples de :

- création d'un espace isolé à l'intérieur du bâtiment, sur une hauteur d'un ou deux étages, séparé par des murs intérieurs,
- construction d'un bâtiment extérieur, directement relié au hall
- occupation partielle de l'étage supérieur d'un bâtiment industriel à 2 étages

Ceci mène à des exigences particulières de conception de la structure et des performances physiques du bâtiment. Si la zone de bureaux est située à l'étage supérieur du bâtiment industriel, elle peut être dimensionnée comme une structure séparée incluse dans la structure du bâtiment. Dans ce cas, les systèmes de planchers des bâtiments commerciaux peuvent être utilisés, souvent à base de structures mixtes, par exemple, les poutres de plancher intégrées. Une autre solution possible est de relier la zone de bureaux à la structure principale. Ceci exige une attention particulière sur la stabilisation des parties combinées du bâtiment.

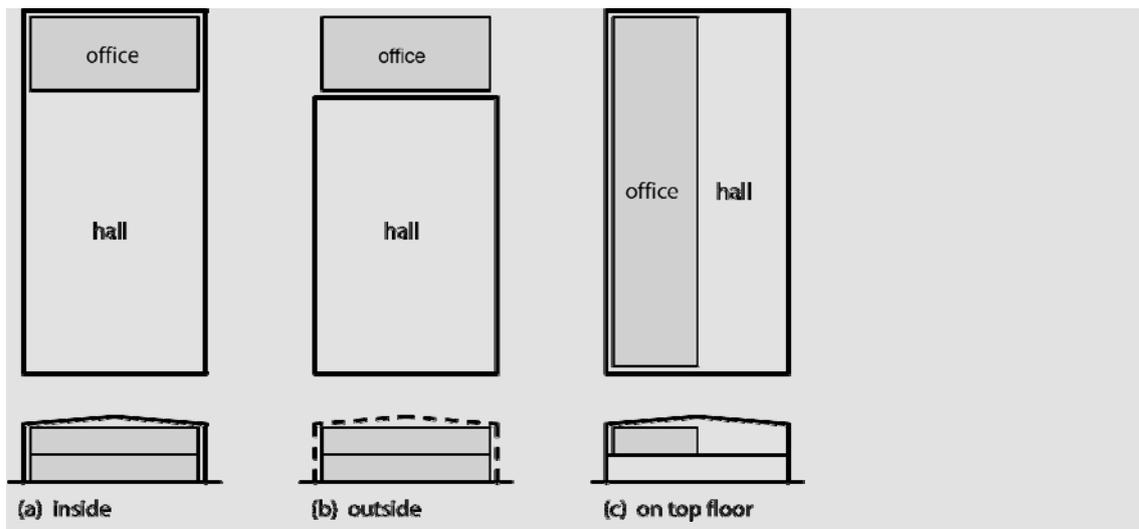


Figure 5.2 Options pour incorporer des bureaux dans un complexe industriel

Il y a de nombreuses possibilités pour l'ingénieur, dans la configuration de la construction et l'apparence du bâtiment industriel, afin de répondre au concept architectural et aux exigences fonctionnelles. Habituellement, un bâtiment industriel est un grand hall rectangulaire, extensible sur sa longueur. Les bâtiments industriels sont généralement dimensionnés comme des enceintes qui offrent un espace fonctionnel pour des activités intérieures. Ces activités peuvent impliquer l'utilisation de ponts roulants ou d'équipements suspendus, aussi bien que de disposer d'une zone pour bureaux ou de mezzanines.

Le système le plus élémentaire utilisé pour un bâtiment industriel est composé de deux poteaux et d'une poutre. Cette configuration peut être modifiée de plusieurs façons, en

utilisant différents types d'assemblages entre les poutres et les poteaux ainsi qu'un pied de poteau.

Les types de structures les plus couramment utilisés dans les bâtiments industriels sont :

- les portiques articulés en pied de poteaux, et
- les structures poteaux-poutres avec pieds de poteaux encastrés ou articulés.

Les portiques offrent une stabilité suffisante dans le plan, et ainsi ne nécessitent un contreventement que pour la stabilité hors-plan. Les structures poteau et poutre avec des connexions articulées nécessitent un contreventement dans le plan et hors plan.

La Figure 5.3 montre divers portiques à 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 ils fléchissent moins sous l'effet des forces horizontales. Les pieds de poteaux articulés ont des fondations plus petites et des assemblages au sol simples.

Dans les exemples (c) et (d), la structure est en partie située à l'extérieur du bâtiment, et les éléments traversant l'enveloppe du bâtiment doivent être dimensionnés avec soin. Le détail complexe dans ce type de structure sert également à des fins architecturales.

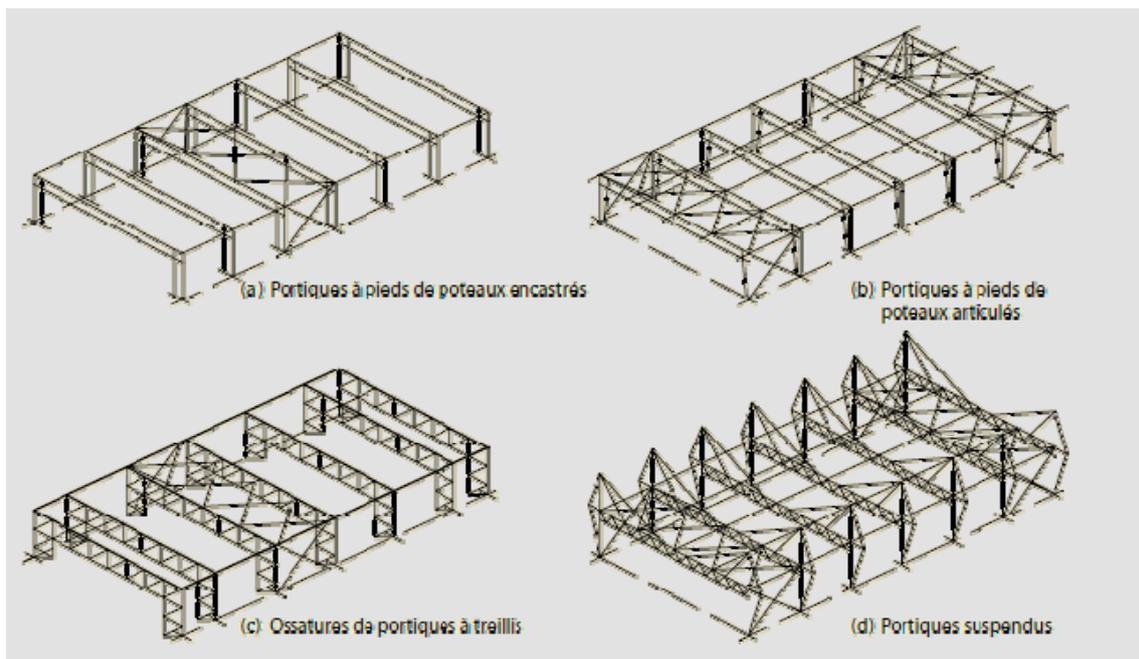


Figure 5.3 Exemples de structures à portiques

La Figure 5.4 présente différentes structures composées de poutres et de poteaux.

La Figure 5.4(a) montre un exemple de structure sans pannes, raidie par l'effet diaphragme de la toiture et des contreventements dans les murs.

A la Figure 5.4(b), l'utilisation de pannes conduit à une conception simple du revêtement de la toiture avec des portées réduites. Le toit est renforcé par un contreventement plan, et ainsi le revêtement ne doit supporter que les charges verticales. Une structure dépourvue de pannes peut offrir une apparence plus esthétique lorsqu'elle est vue de l'intérieur.

Les Figures 5.4(c) et 5.4(d) montrent des portiques à treillis et des poutres suspendues par des câbles, ce qui permet d'atteindre des plus grandes portées, mais également paraître plus attrayant du point de vue esthétique.

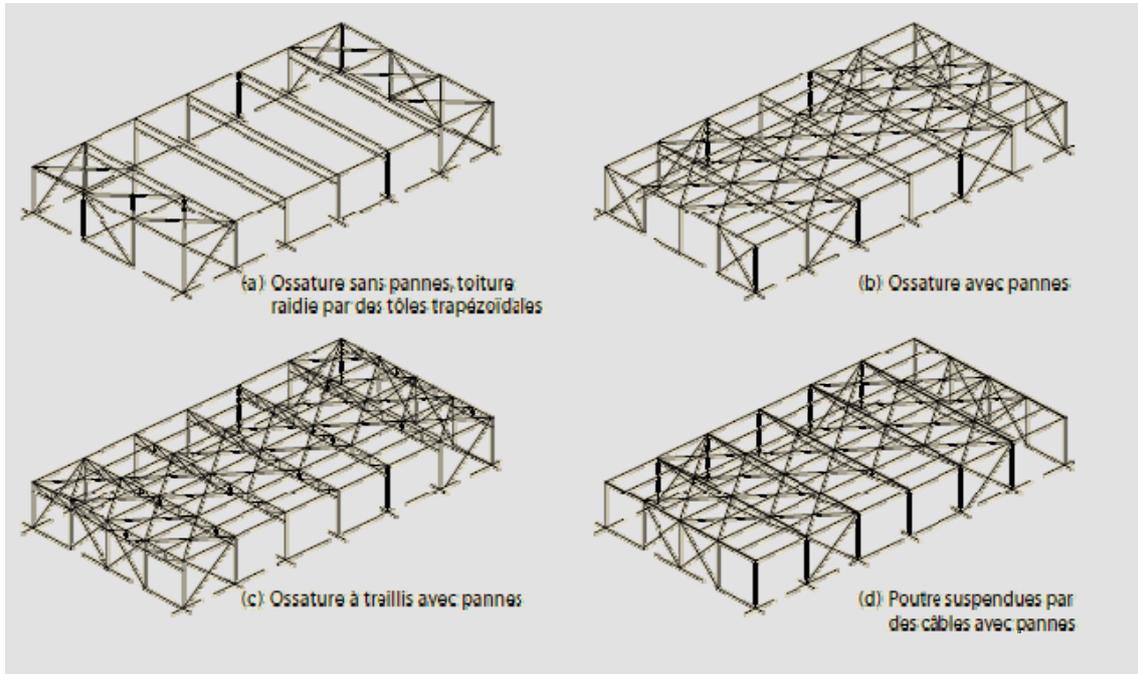


Figure 5.4 Exemples de structures poteau-poutre

Les structures en arc offrent l'avantage d'être porteuses ainsi que de fournir un aspect visuel agréable.

La Figure 5.5(a) montre un bâtiment avec un arc tri-articulé.

Une alternative consiste à surélever la structure sur des poteaux, comme le montre la Figure 5.5(b), une structure érigée en ossature rapprochée (c), ou intégrée dans une structure à treillis comme à la Figure 5.5(d).

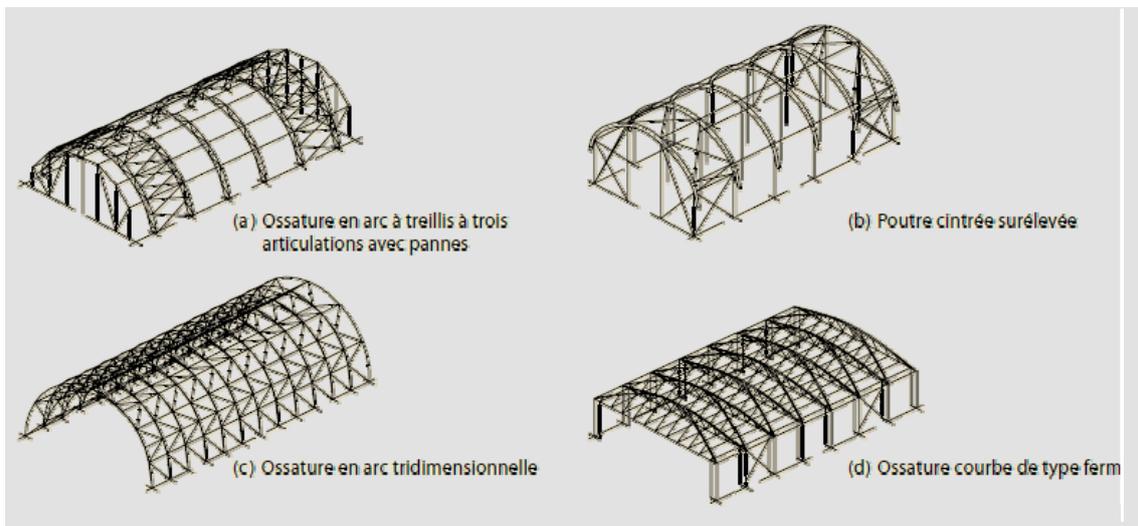


Figure 5.5 Exemples de structures cintrées ou en arc

Les formes de bâtiments avec des éléments de structure primaires et secondaires décrites ci-dessus sont toutes des structures directionnelles, pour lesquelles les charges sont principalement réparties sur des chemins de charge individuels.

Les structures spatiales et en treillis sont des structures non-directionnelles : elles peuvent être allongées, mais seront lourdes pour de longues portées. La figure 5.6 montre quelques exemples de structures spatiales.

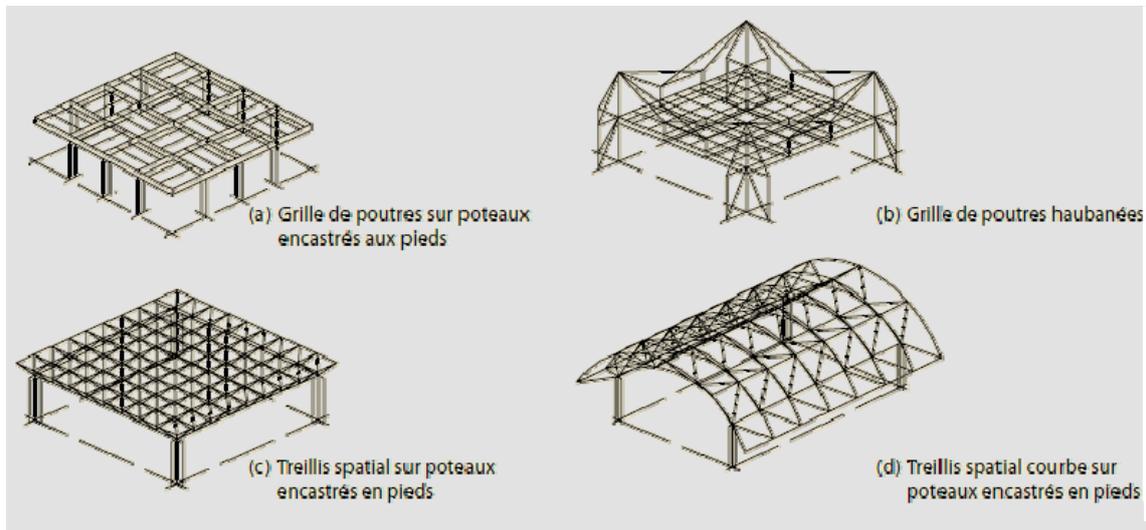


Figure 5.6 Exemples de structures spatiales

5.2 Portiques cintrés ou en pente

5.2.1 Formes générales des portiques

Les portiques en acier sont largement utilisés dans la plupart des pays européens car ils associent performance de la structure avec application fonctionnelle. Différentes configurations de portiques peuvent être dimensionnées en utilisant le même concept structurel, comme le montre la Figure 5.7. Il est également possible de concevoir des portiques à plusieurs travées, comme dans les Figures 5.7(e) et 5.7(f), en utilisant soit des poteaux intérieurs uniques soit doublés.

Les portiques doivent être maintenus par un tirant aux rives, afin de réduire le déplacement horizontal du cadre, mais le tirant réduit la hauteur libre dans le bâtiment. Les moments dans les colonnes sont réduits, mais pour les pentes de toit inférieures à 15° , des efforts importants se développent dans les traverses et dans le tirant.

Les portiques à traverses cintrées (voir Figure 5.7(b)) 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.

Lorsque le toit doit être cintré mais qu'il n'est pas nécessaire que le portique le soit, une autre solution consiste à fabriquer la traverse sous forme de série d'éléments rectilignes. Les poutres cellulaires sont couramment utilisées pour les portiques dont les traverses sont cintrées, mais lorsque des assemblages de continuité de la traverse sont nécessaires pour le transport, ces assemblages doivent normalement être conçus de manière à préserver les caractéristiques architecturales de ce type de construction.

Des emplacements de bureaux sont souvent aménagés sur les structures de portiques au moyen de plancher en mezzanine (voir Figure 5.7(c)), sur une partie ou la totalité de la largeur. Le plancher peut être dimensionné pour assurer la stabilité du portique.

Il arrive souvent que le plancher intérieur nécessite également une protection contre le feu.

Les bureaux peuvent aussi être situés en dehors du portique, créant ainsi un portique supplémentaire (voir Figure 5.7(f)). L'avantage principal de cette ossature est que les jarrets ou les poteaux de grandes dimensions n'obstruent pas l'espace de bureaux. En général, cette structure additionnelle est stabilisée par le portique.

Les ponts roulants, quand ils sont nécessaires, exercent une influence importante sur le calcul et les dimensions des portiques. Ils provoquent des charges verticales additionnelles et des efforts horizontaux considérables, ce qui a un effet sur la dimension de la section des poteaux, en particulier.

Lorsque le pont roulant est de capacité relativement faible (jusqu'à 20 tonnes environ), des corbeaux peuvent être fixés sur les poteaux pour supporter le pont roulant (voir Figure 5.7 (d)) 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.

Un portique Mansard est composé d'une série d'éléments de traverses et de jarrets (comme illustré à la Figure 5.7(g)) Il peut être utilisé lorsqu'une grande traverse 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.

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 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.

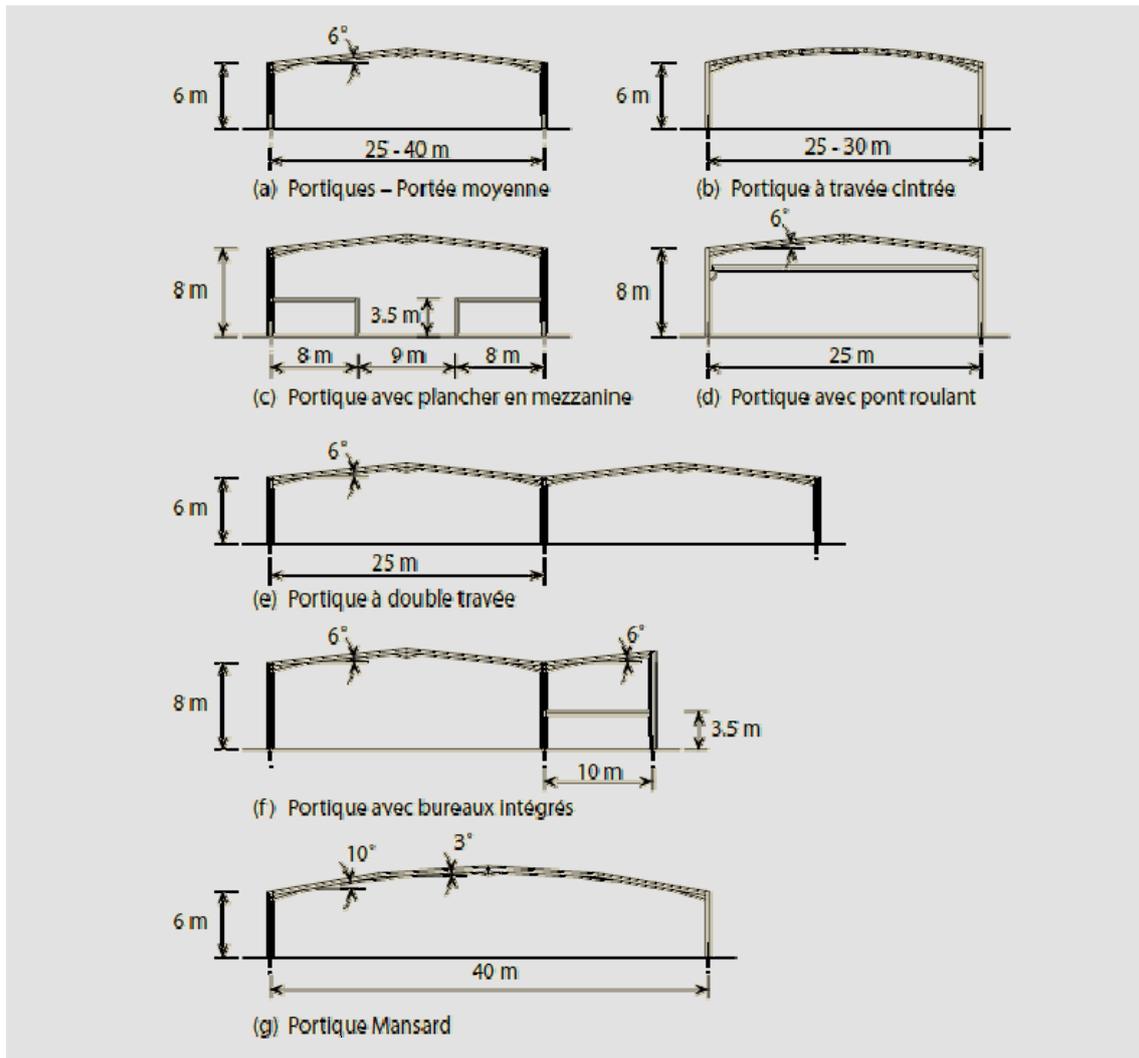


Figure 5.7 Différentes formes de portiques

Outre les structures principales en acier, une large gamme de composants secondaires a également été développée, comme les pannes en acier formées à froid. Ces éléments participent également à la stabilité de l'ossature. 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.

Les portiques sont généralement composés de poteaux et de traverses horizontales ou en pente reliés par des assemblages rigides. Les portiques à pieds de poteaux articulés sont en général préférés car ils permettent des fondations de dimensions 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. Des exemples de contreventement de portique sont illustrés à la Figure 5.8. Une alternative au contreventement consiste à utiliser des tôles profilées pour la toiture dont on exploite l'effet diaphragme pour assurer le transfert des charges aux poteaux. L'utilisation de poteaux à extrémités encastrees, de noyaux et de murs en cisaillement peut également assurer un encastrement hors du plan du portique.

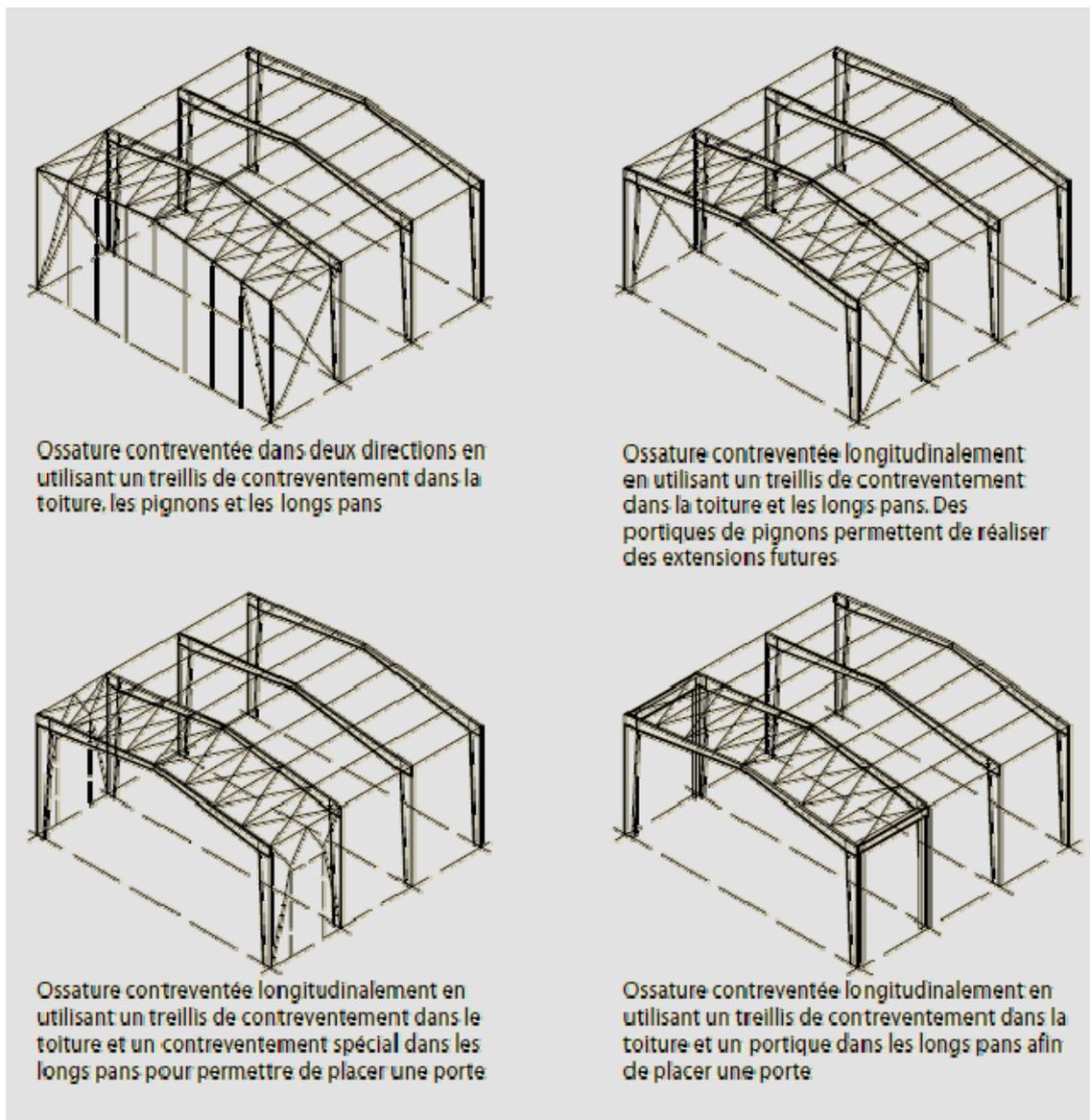


Figure 5.8 Exemples de contreventement hors du plan d'un portique

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.

5.2.2 Portique avec toit à double pente

Le portique avec toit à double pente est la forme la plus couramment utilisée, et un exemple est illustré à la Figure 5.9. Les principaux composants et la terminologie d'un

portique avec toit à double pente sont présentés à la Figure 5.10. L'utilisation de chéneaux de rives et d'un gousset de faitage réduit la hauteur nécessaire de la traverse et apporte une connexion efficace à ces endroits. En général, les chéneaux de rives et le gousset de faitage sont découpés dans la même section que la traverse.



Figure 5.9 Portique avec toit à double pente en phase de montage

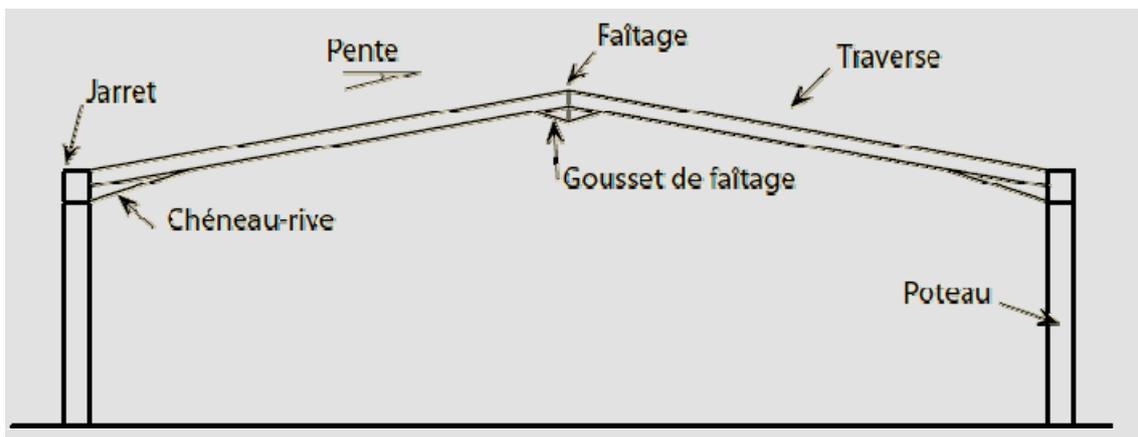


Figure 5.10 Terminologie pour un portique avec toit à double pente

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement

Pour une construction rentable d'un portique avec toit à double pente :

- choisir une portée entre 15 m et 50 m (une portée de 25 à 35 m est la plus performante)
- choisir une hauteur de rives entre 4 et 10 m (une hauteur de 5 m ou 6 m est couramment adoptée)

- choisir une pente de toit de 5% à 10% (5% ou 6% est couramment adopté).
- prescrire un espacement entre les portiques de 5 m à 8 m (généralement 6 m, les espacements les plus grands étant associés aux portiques de plus longues portées).
- utiliser des chéneaux de rive aux traverses, et si nécessaire des goussets de faîtage pour des connections économiques.

Le Tableau 5.1 peut servir d'aide pour le pré-dimensionnement des portiques à travée unique. Les portiques sont supposés être distants de 6 m, avec une pente de toiture de 5 %.

Table 5.1 Tableau de pré-dimensionnement pour les portiques à double pente

Portée [m]	Hauteur de rives [m]	Charge de neige [kN/m ²]	Traverse	Poteau	Longueur chéneau et gousset [m]	Poids [kg]
12.0	4.0	0.5	IPE 240	IPE 300	0.6	712
		1.0	IPE 270	IPE 330	0.6	832
	6.0	0.5	IPE 270	IPE 360	0.96	1131
		1.0	IPE 300	IPE 360	0.6	1195
	8.0	0.5	IPE 330	IPE 450	2.0	1893
		1.0	IPE 330	IPE 450	2.05	1896
15.0	4.0	0.5	IPE 270	IPE 330	0.85	947
		1.0	IPE330	IPE360	0.75	1208
	6.0	0.5	IPE300	IPE360	0.75	1330
		1.0	IPE330	IPE400	0.85	1546
	8.0	0.5	IPE330	IPE450	2.55	2065
		1.0	IPE360	IPE500	0.9	2315
18.0	4.0	0.5	IPE330	IPE360	0.9	1360
		1.0	IPE360	IPE450	0.95	1671
	6.0	0.5	IPE330	IPE400	1	1698
		1.0	IPE400	IPE450	0.9	2144
	8.0	0.5	IPE400	IPE450	0.9	2448
		1.0	IPE400	IPE500	1	2661
2.10	4.0	0.5	IPE360	IPE400	1.05	1757
		1.0	IPE400	IPE500	1.45	2174
	6.0	0.5	IPE360	IPE450	1.2	2158
		1.0	IPE450	IPE500	1.05	2748
	8.0	0.5	IPE400	IPE500	1.05	2859
		1.0	IPE450	IPE550	1.05	3336
24.0	4.0	0.5	IPE400	IPE450	1.3	2260
		1.0	IPE450	IPE500	1.8	2677
	6.0	0.5	IPE400	IPE500	1.4	2722
		1.0	IPE500	IPE550	1.2	3487
	8.0	0.5	IPE450	IPE550	1.2	3576
		1.0	IPE500	IPE600	1.2	4166
27.0	4.0	0.5	IPE450	IPE500	1.75	2902
		1.0	IPE500	IPE550	2.2	3429
	6.0	0.5	IPE450	IPE550	1.45	3410
		1.0	IPE550	IPE600	1.35	4380
	8.0	0.5	IPE500	IPE600	1.35	4447
		1.0	IPE550	IPE750X13 7	1.35	5089
30.0	4.0	0.5	IPE500	IPE550	2	3678
		1.0	IPE600	IPE600	1.5	4749
	6.0	0.5	IPE500	IPE600	1.5	4247
		1.0	IPE600	IPE750X13 7	1.5	5402

8.0	0.5	IPE500	IPE600	1.75	4750
	1.0	IPE600	IPE750X13 7	1.5	5939

Ces données sont valables pour des portiques entre distants de 5 m et une double pente de 5%

5.2.3 Assemblages

Les trois principaux assemblages d'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 5.11. Un jarret (ou chéneau de rive) 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.

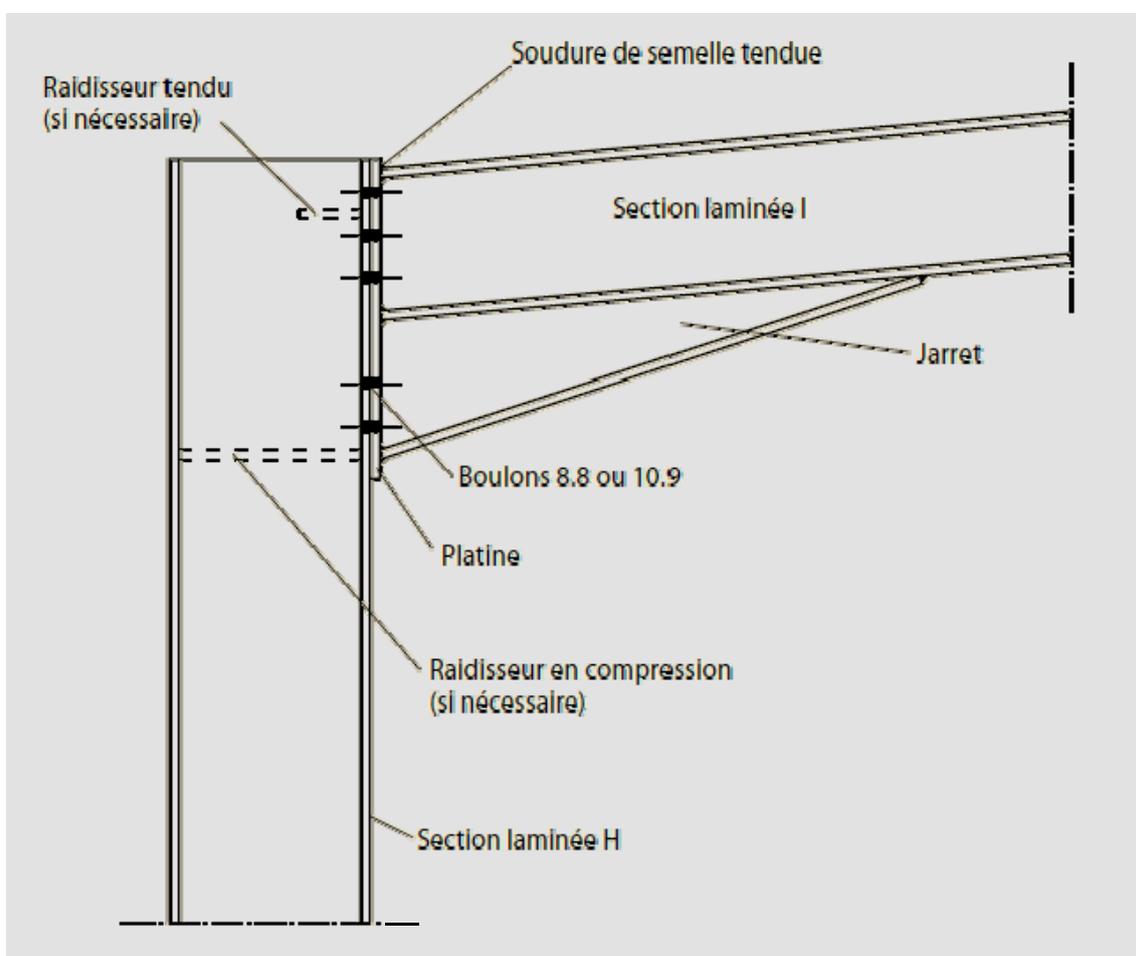


Figure 5.11 Assemblage typique poteaux-poutres dans un portique

Dans certains cas, le poteau et le jarret sont construits comme un seul élément, et la traverse est 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.

L'assemblage au faîte est souvent dimensionné de façon similaire, voir Figure 5.12. Si la portée de l'ossature n'excède pas les limites fixées pour le transport (environ 16 m), l'assemblage du faîtage sera réalisé en usine, permettant ainsi des économies.

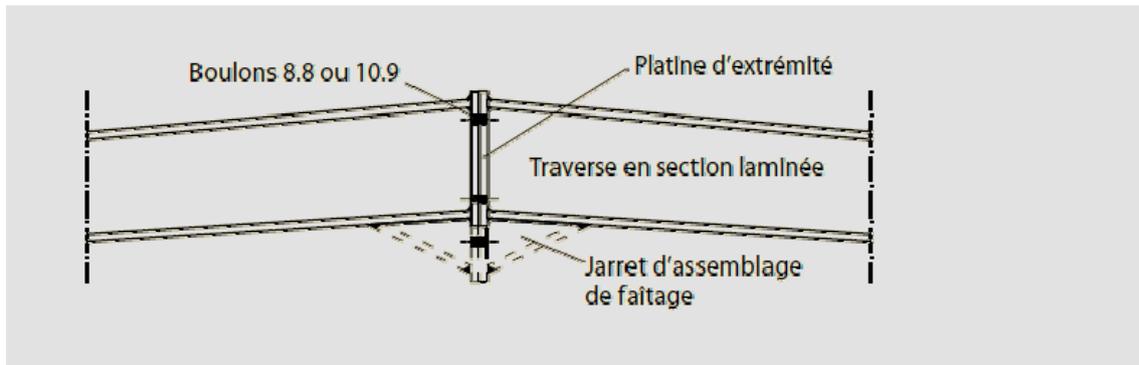


Figure 5.12 Assemblage classique de faîtage pour un portique avec toit à double pente

Les pieds de poteaux sont souvent articulés, avec des tolérances plus larges afin de faciliter les interfaces entre le béton et l'acier. La Figure 5.13 montre quelques détails classiques. Les assemblages articulés ont souvent la préférence afin de réduire les dimensions des fondations. Toutefois, des forces horizontales élevées peuvent nécessiter le recours à des assemblages de pieds encastrés.

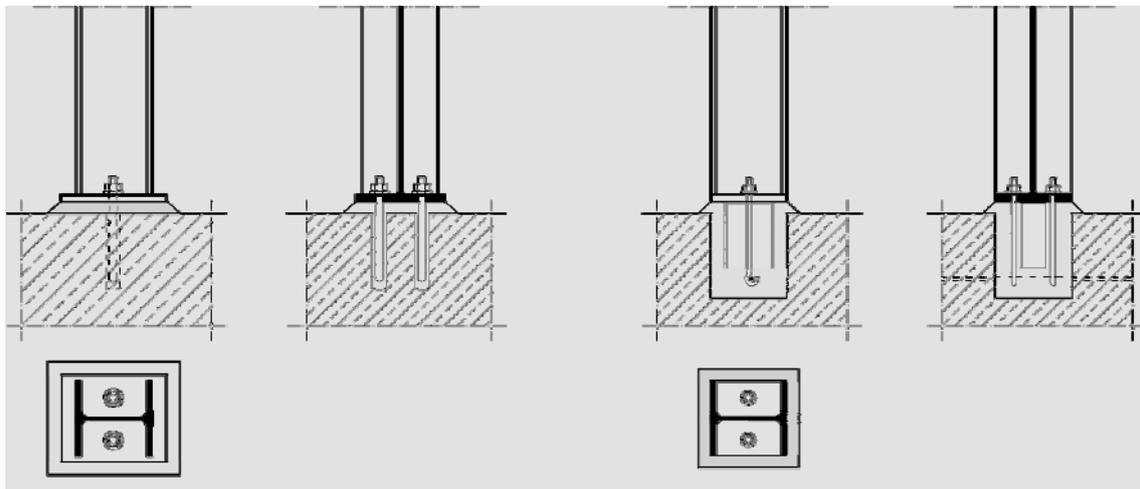


Figure 5.13 Exemple classiques de pieds de poteaux articulés dans un portique

5.3 Les structures poutres et poteaux

Pour ce type de structure portante, des contreventements sont nécessaires dans les deux directions; dans la toiture aussi bien que dans les murs - afin d'assurer la stabilité aux charges horizontales (voir Figure 5.14). Pour cette raison, cette méthode est souvent utilisée pour des halls en grande partie fermés (c'est-à-dire, sans ouvertures importantes). Ceci doit également être pris en compte lors de la phase de montage par l'utilisation de contreventements temporaires.

Pour des structures poutres/poteaux simples, les poteaux sont assemblés aux poutres par des assemblages articulés. Les poteaux sont chargés principalement en compression, ce qui conduit à des profilés plus petits. Cependant, par rapport au portique, les moments dans la poutre sont plus importants, ce qui entraîne l'utilisation de profilés plus grands. Comme les assemblages articulés sont plus simples que les assemblages rigides, les coûts de fabrication peuvent être réduits. Les assemblages en pied de poteaux sont normalement articulés, pour minimiser les coûts de fondation. Les poteaux sont le plus souvent des profilés de la série HEA, avec des poutres de la série IPE. La nuance d'acier est normalement du S235, car dans la majorité des cas, le critère de la flèche est prépondérant. Les portées ont jusqu'à 25 m, en général, avec

des hauteurs de rive allant jusqu'à 10 m. Les bâtiments avec des portées supérieures nécessitent des treillis de toiture

Le toit est habituellement composé de panneaux avec un revêtement en bitume sur une tôle en acier, une étanchéité intermédiaire, et une tôle en acier par-dessous. Le type de couverture dépend de la distance entre les poutres de toit. Les panneaux de toit sont utilisés pour stabiliser les poutres de toit au déversement.

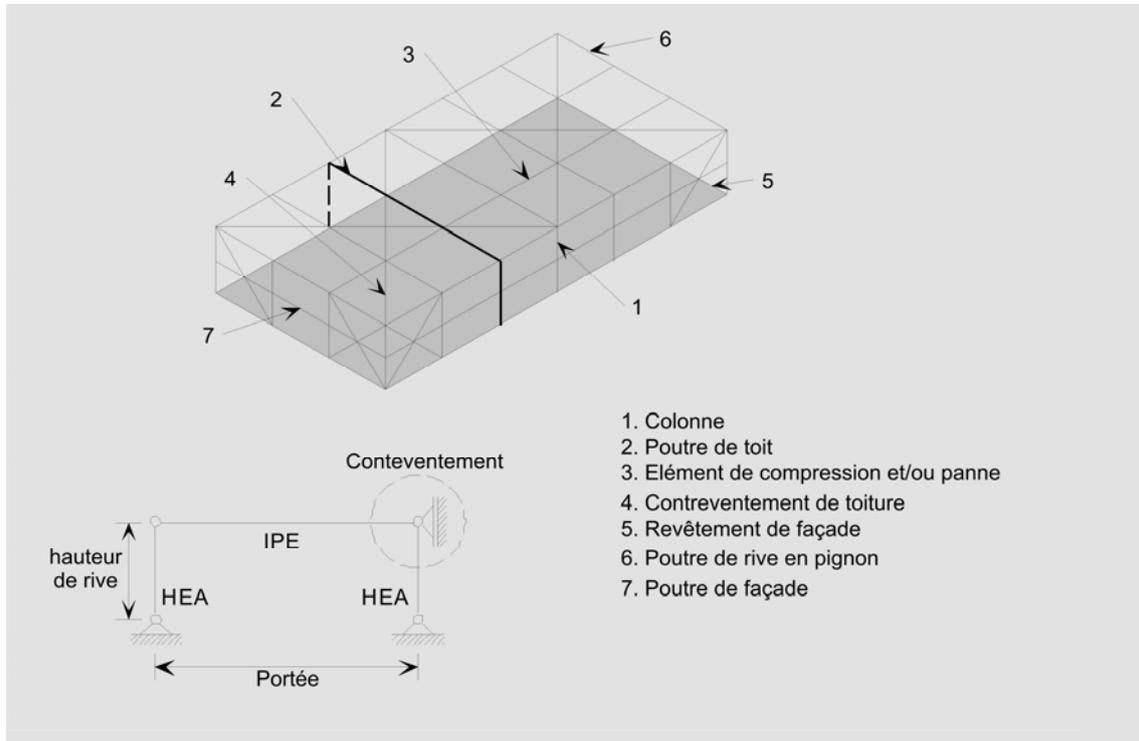


Figure 5.14 Structure classique poteaux-poutres avec assemblages articulés

Suggestion pour la stratégie de dimensionnement

Pour une construction rentable :

- Utiliser les dimensions de poteaux et de poutres données dans le Tableau 5.2.
- Utiliser la nuance d'acier S235
- Utiliser des pieds de poteaux articulés

Table 5.2 Table de pré-dimensionnement pour structures poutre/poteau à toiture plate avec pieds de poteaux articulés

Portée [m]	Hauteur de rive [m]	Poutre	Poteau
10	5	IPE270	HE120A
	6	IPE270	HE140A
	8	IPE270	HE180A
	10	IPE270	HE220A
12	5	IPE300	HE120A
	6	IPE300	HE140A
	8	IPE300	HE180A
	10	IPE300	HE220A
14	5	IPE360	HE120A
	6	IPE360	HE140A
	8	IPE360	HE180A
	10	IPE360	HE220A
16	5	IPE400	HE120A
	6	IPE400	HE140A
	8	IPE400	HE180A
	10	IPE400	HE220A
18	5	IPE450	HE120A
	6	IPE450	HE140A
	8	IPE450	HE180A
	10	IPE450	HE220A
20	5	IPE500	HE120A
	6	IPE500	HE140A
	8	IPE500	HE180A
	10	IPE500	HE220A
22	5	IPE500	HE120A
	6	IPE500	HE140A
	8	IPE500	HE180A
	10	IPE500	HE220A
24	5	IPE550	HE120A
	6	IPE550	HE140A
	8	IPE550	HE180A
	10	IPE550	HE220A

Ces données sont pour des portiques entre distants de 5 m et une charge de neige de 0.56 kN/m²

5.4 Sécurité incendie

Dans la plus part des pays Européens, les bâtiments à simple rez-de-chaussée peuvent être construits sans temps de résistance à l'incendie, à condition qu'ils soient conformes à des limites spécifiques.

Exemple de réglementations spécifiques :

- France: Seulement pour les bâtiments à simple rez-de-chaussée de moins de 10 m
- Allemagne, Espagne et Suisse: Seulement si les bâtiments sont pourvus d'un système d'extinction automatique
- Royaume-Uni et Pays-Bas: Les bâtiments à simple rez-de-chaussée ne nécessitent pas de résistance au feu, à moins que la structure considérée supporte un mur extérieur, ce qui nécessite une résistance au feu en raison de la proximité avec un autre bâtiment.
- Suède: Il n'y a pas d'exigence pour les bâtiments à simple rez-de-chaussée à moins qu'ils soient des halls permettant la réunion de plus de 150 personnes

Dans la plupart des pays européens, les exigences à la résistance au feu ne s'appliquent pas aux traverses et aux poutres supportant le toit, à moins que l'effondrement de ces parties influe sur la stabilité des parois.

Pour les grands bâtiments industriels, le compartimentage en zone coupe-feu peut jouer un rôle important dans la conception, même si il n'y a pas de bureaux. Afin de prévenir la propagation du feu, la taille des compartiments est limitée à une certaine valeur. Par conséquent des murs coupe-feu doivent être installés pour les séparations afin de garantir au moins 60 et voir même souvent 90 minutes de résistance au feu. Cela est même encore plus important si des marchandises dangereuses sont entreposées dans le bâtiment.

Du fait que les bureaux sont conçus pour être utilisés par le plus grand nombre de personnes, les exigences de sécurité incendie y sont plus strictes. Si des bureaux sont situés au dernier étage d'un immeuble, des voies d'évacuation supplémentaires sont nécessaires et des mesures actives de lutte contre l'incendie doivent être mises en place. La propagation du feu doit être stoppée d'un compartiment à un autre, ce qui peut par exemple être réalisé à l'aide d'une dalle mixte entre les bureaux et la zone industrielle.

Les conseils généraux donnés dans le chapitre 4.4 pour les bâtiments commerciaux s'appliquent aussi aux bâtiments industriels.

REFERENCES

- 1 Euro-build in steel: evaluation of client demand, sustainability and future regulations on the next generation of building design in steel, CEC 7210-PR/381