

*Bonnes Pratiques pour la Construction de Structures en Acier*

**BÂTIMENTS À USAGE**

**COMMERCIAL**

Guide destiné aux Architectes, Concepteurs et Constructeurs



Research Fund  
for Coal & Steel

# Table des Matières



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

[www.cticm.com](http://www.cticm.com)

**Cette publication présente les bonnes pratiques du dimensionnement des bâtiments à usage commercial faisant appel aux technologies de la construction en acier. Elle s'adresse aux architectes et aux bureaux d'études lors des premières étapes d'un projet de bâtiment à usage commercial. Elle fait partie d'une série de trois ouvrages publiés dans le cadre d'un projet du Fonds de Recherche pour le Charbon et l'Acier (FRCA) intitulé EuroBuild (Projet n° RFS2-CT-2007-00029). L'objectif de ce projet est d'informer sur les bonnes pratiques du dimensionnement des structures métalliques et d'étudier la future génération de bâtiments construits en acier. Les autres publications traitent des bâtiments à usage industriel et des bâtiments à usage d'habitation.**

Les partenaires du projet EuroBuild sont les suivants :

ArcelorMittal

Bouwen met Staal

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)

Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)

Labein Tecnalía

SBI

The Steel Construction Institute (SCI)

Technische Universität Dortmund

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

ISBN 978-1-85942-113-0

© 2008. Centre Technique Industriel de la Construction Métallique.

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

Photographie de couverture : Tower Place, Londres. Architecte : Foster & Partners.

## 01 Introduction



## 02 Facteurs-clés Pour le Dimensionnement



## 03 Systèmes de Planchers



## 04 Systèmes de Planchers Spéciaux



## 05 Assemblages des Poutres



## 06 Etudes de Cas



# 01 Introduction

**Le dimensionnement des bâtiments à usage commercial découle de plusieurs facteurs parmi lesquels :**

- **la possibilité de réaliser de grands plateaux exempts de poteaux ;**
- **la création d'espaces de circulation efficaces ;**
- **l'intégration des équipements techniques du bâtiment ;**
- **les conditions d'accès au site de construction et leur influence sur le processus de construction.**

Pour les projets situés en zone urbaine, la rapidité de construction et la disponibilité limitée de zones de stockage des matériaux sur le chantier exigent un haut degré de préfabrication, que les systèmes à ossature en acier peuvent offrir.

Une récente étude comparative des coûts a montré que la structure d'un bâtiment elle-même ne représente en général que 10% du coût total du bâtiment. Plus significatives sont les conséquences du choix de cette structure : elles concernent le coût des fondations, des équipements techniques et des façades. Par conséquent, les bonnes pratiques de dimensionnement d'un bâtiment sont la synthèse de

solutions relatives à l'architecture, à la structure, aux équipements techniques, à la logistique et à l'exécution. Dans les cas où cette synthèse a pu être réalisée, les systèmes en acier avec des poutres de longue portée permettant l'intégration des équipements techniques s'imposent pour la conception de bâtiments à usage commercial.

La Figure 1.1 montre un immeuble à usage commercial récent en acier, offrant un environnement de travail de haute qualité, flexible et fonctionnel.



*Figure 1.1 Bâtiment à usage commercial moderne en acier, Londres*

# Facteurs-clés Pour le

## 02 Dimensionnement

**De nombreux facteurs conditionnent le dimensionnement des bâtiments à usage commercial. On trouvera ci-dessous des informations d'ordre général permettant d'identifier les facteurs-clés du dimensionnement, ainsi qu'une liste des avantages offerts par la construction mixte acier/béton et en acier.**

### Marché des bâtiments à usage commercial

Habituellement, les projets en centre-ville présentent des superficies de plancher relativement importantes (8.000 - 20.000 m<sup>2</sup>) et une hauteur de 4 à 10 étages. La plupart des bâtiments nécessitent des portées de plancher supérieures à 12 m, et la tendance s'oriente résolument vers des portées de 15-18 m sans poteaux intermédiaires. La hauteur maximale des bâtiments est souvent limitée par les règles d'urbanisme, obligeant à réduire l'épaisseur des planchers, par exemple en y intégrant la structure et les équipements techniques.

Il existe une forte demande pour des espaces de bureaux de haute qualité, particulièrement en centre-ville. Les sièges sociaux des grandes entreprises, soucieuses de leur image, exigent des bâtiments construits selon des normes architecturales et environnementales de qualité. La valorisation de l'investissement constitue le principal critère du choix de l'architecture, de la forme, et de la stratégie d'implantation des équipements techniques. De nombreux bâtiments sont incurvés, ou de forme architecturale complexe, avec des façades et des atriums largement vitrés.

Actuellement, la tendance s'oriente vers des bâtiments "à usage polyvalent" qui impliquent le regroupement de locaux commerciaux, de boutiques et d'habitations dans un même environnement de "vie-travail-loisirs".

En revanche, la tendance récente qui consistait à construire sur des terrains nus ou à l'extérieur des villes (comme certains parcs technologiques et scientifiques) a sensiblement diminué depuis que les tendances urbanistiques incitent à construire en centre-ville.

La construction mixte est devenue le mode de construction préféré (Figure 2.1). Cette technologie offre également des possibilités d'intégration des équipements techniques dans l'épaisseur de la dalle de grande portée. Le pré-assemblage des équipements techniques, des ascenseurs, des sanitaires et des locaux techniques a également son importance dans les projets majeurs.

La flexibilité d'usage à long terme est une question primordiale aux yeux des clients et des promoteurs, tandis que les technologies de l'information et les systèmes de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) s'imposent pour la conception, le dimensionnement et l'exploitation du projet.

### Programme de construction

Le programme de construction doit normalement être étudié en même temps que l'évaluation des coûts des structures, des équipements techniques, des revêtements et des finitions. Le parti constructif choisi est étroitement lié au programme et à son coût. Les solutions qui permettent l'intervention des corps de métier de manière successive et sans délai sont avantageuses puisqu'elles permettent un retour sur investissement

*Marché des bâtiments à usage commercial*

*Programme de construction*

*Questions relatives à la construction*

*Questions relatives au dimensionnement*

*Sécurité incendie*

*Performance relative à l'isolation thermique*

*Charges*



Figure 2.1 Les planchers mixtes constituent une plate-forme de travail sûre pendant la construction

rapide pour le client. La rapidité de construction est considérée comme le meilleur argument de vente des constructions en acier.

## Questions relatives à la construction

### Conditions de chantier

De plus en plus, les structures sont construites sur des sols de qualité médiocre, ou sur des terrains déjà construits. Dans les centres-villes, la présence d'équipements techniques et d'ouvrages destinés au métro (tunnels) dicte souvent les choix.

Une qualité de sol médiocre implique une solution légère nécessitant moins de fondations, ce qui conduit souvent à réaliser des portées plus longues pour la superstructure. Une structure en acier est jusqu'à 50% plus légère que son équivalent en béton.

Un terrain confiné peut imposer des contraintes sur le parti constructif choisi, par exemple en ce qui concerne les dimensions des éléments pouvant être livrés et montés. Dans ce cas, les planchers mixtes sont souvent les plus appropriés.

### Grues

Les structures à plusieurs niveaux sont souvent montées au moyen d'une grue à tour. Le nombre de grues nécessaires à un projet dépend des éléments suivants :

- la "couverture" du chantier : les grues peuvent-elles assurer une couverture satisfaisante du chantier de

construction, y compris pour le déchargement des matériaux?

- la taille du projet : plusieurs grues peuvent-elles être utilisées efficacement?
- les décisions commerciales concernant le rapport coûts/avantages pour le programme.

Le rythme d'installation dépend du temps "au crochet" (temps pendant lequel les éléments sont accrochés à la grue).

La réduction du nombre d'éléments ou l'utilisation de plusieurs grues permet d'accélérer le programme de construction. Les petits chantiers urbains comportent souvent une seule grue à tour utilisée par tous les corps de métier.

Ces exigences contradictoires peuvent ralentir la progression globale du montage de la structure en acier. Pour les grands projets, il faut permettre aux corps de métier successifs de commencer leurs activités au fur et à mesure de l'installation de la structure en acier.

### Rythme d'installation

A titre indicatif, le rythme raisonnable d'installation est de l'ordre de 20 à 30 éléments en acier par jour pour la plupart des projets de construction de bâtiments à usage commercial. En termes de poids moyen des éléments, ce rythme équivaut à 10 à 12 tonnes d'acier par jour. Ainsi, le recours à des poutres de grande portée peut réduire de 25 % le nombre d'éléments.

### Planchers mixtes

Les planchers mixtes comportent des tôles profilées en acier hissées en paquets sur la structure puis, en général, installées manuellement. Un système anti-chutes est mis en place immédiatement après le montage de la structure en acier et avant l'installation des tôles profilées, celles-ci sont habituellement posées à l'avancement du montage de la structure en acier.

Les planchers coulés et achevés peuvent servir de plates-formes de travail sûres pour la suite du montage de la structure

*"La construction en acier apporte au programme de construction des avantages qui ont une influence majeure sur un achèvement rapide et sur la rentabilité financière pour le client."*

en acier (Figure 2.1). Pour cette raison, le plancher supérieur – indépendamment du nombre de niveaux du projet – est souvent coulé en premier.

### **Dalles en béton préfabriqués**

La mise en place d'éléments préfabriqués en béton peut s'avérer difficile en cas de manutention au travers de la structure en acier. Une bonne pratique consiste à placer ces éléments au fur et à mesure de l'avancement de la structure en acier de chaque étage. Dans ce cas, la fourniture et la pose d'éléments en béton préfabriqués peuvent être intégrées dans le lot Construction Métallique.

## **Questions relatives au dimensionnement**

### **Calcul de la durée de vie**

Lorsque l'on propose un parti constructif, il est admis que l'ossature ait une durée de vie bien supérieure à celle des autres composants. Les équipements techniques sont calculés pour une durée de vie d'environ 15 ans, alors qu'elle est de 60 ans pour la structure. Quant à l'enveloppe des immeubles de bureaux, elle a une durée de vie de 30 à 60 ans.

De plus, l'utilisation de l'espace intérieur du bâtiment est désormais très évolutive et les solutions retenues doivent offrir la meilleure flexibilité d'aménagement. La structure en acier peut être conçue en fonction de ces exigences de flexibilité et d'adaptabilité grâce à :

- des portées plus longues avec moins de poteaux intermédiaires,
- des plafonds plus hauts,
- une liberté de disposition des équipements techniques.

### **Intégration des équipements techniques**

Malgré la tendance vers une plus grande efficacité énergétique et le recours à des stratégies de ventilation naturelle, la plupart des grands bâtiments à usage commercial exigeront toujours une certaine forme de ventilation mécanique et de conditionnement d'air. Les dispositions concernant ces systèmes revêtent une importance critique car elles conditionnent le choix de l'agencement et le type d'éléments de la structure.

La décision fondamentale d'intégrer les équipements techniques dans l'épaisseur

de la structure ou de les suspendre sous la structure a des conséquences sur le choix de celle-ci, sur le système de protection incendie, sur les détails constructifs des revêtements et sur la hauteur totale du bâtiment.

Les systèmes les plus couramment utilisés sont le VAV (Débit d'Air Variable) et le FCU (Ventilo-Convecteur). Les systèmes VAV sont souvent installés dans les bâtiments occupés par un propriétaire unique, en raison du coût de fonctionnement plus faible, tandis que les systèmes à ventilo-convecteur équipent plutôt des immeubles à usage commercial de rapport, en raison de leur moindre coût initial.

En général, une hauteur de 450 mm permet de suspendre les équipements techniques sous la structure. Un espace supplémentaire de 150-200 mm est souvent réservé pour la protection incendie complémentaire, le plafond et les éclairages, ainsi que pour la déformation nominale (25 mm) de la structure. Les éléments terminaux (unités de FCU ou de VAV) sont placés entre les poutres en acier où l'espace est disponible. Certains systèmes installés dans le faux plancher assurent le conditionnement d'air par le sol.



Figure 2.2 Ouvertures oblongues ménagées dans des poutres à raidisseurs horizontaux



Figure 2.3 Implantation des équipements techniques sous un plancher à poutres intégrées



Figure 2.4 Tôles profilées mixtes en acier inoxydable utilisées à la Chambre de Commerce du Luxembourg  
Vasconi Architects

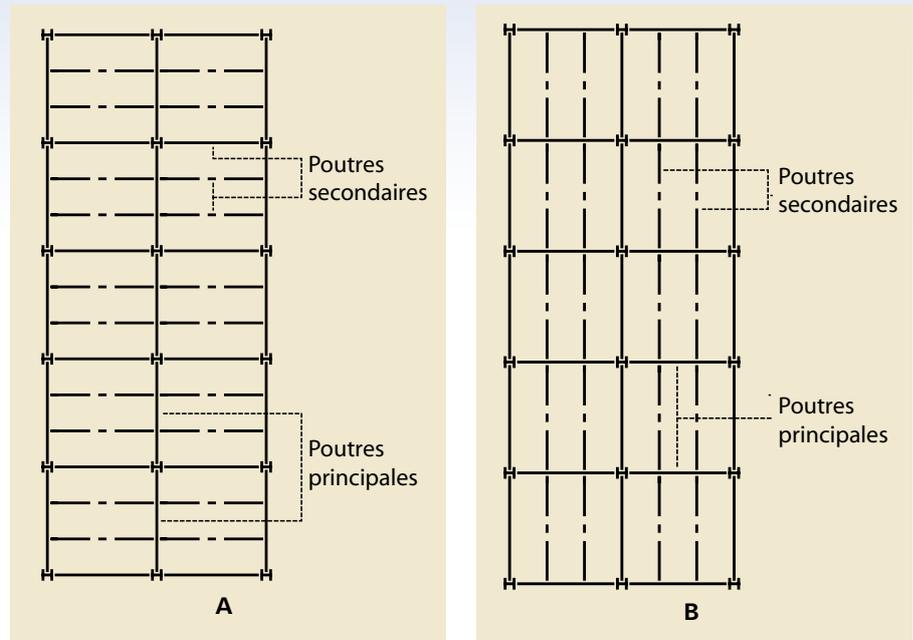


Figure 2.5 Différentes solutions pour la disposition des poutres en construction mixte

L'intégration des équipements techniques est réalisée en faisant passer ces équipements au travers d'ouvertures dans les poutres en acier. Ces traversées se font sous forme d'ouvertures individuelles dans des poutres en acier laminées, ou d'ouvertures régulières ou irrégulières multiples dans des poutres reconstituées soudées (PRS).

Les poutres alvéolaires comportent des ouvertures circulaires régulières dans l'âme, formées par l'assemblage soudé de deux parties d'un profilé en acier laminé. Les parties supérieures et inférieures en acier peuvent être découpées avec des dimensions différentes dans des poutres différentes, et même dans des nuances d'acier différentes (profilés hybrides). Cette technique permet d'obtenir une intégration efficace des équipements techniques et améliore la rigidité et la résistance en flexion. On peut également pratiquer des ouvertures oblongues (Figure 2.2).

Les systèmes de planchers intégrés possèdent une épaisseur structurale minimale, et permettent une certaine flexibilité dans l'implantation des équipements techniques (Figure 2.3). D'autres formes innovantes de planchers intégrés ont été développées (Figure 2.4). Dans ce projet, les tôles en acier inoxydable sont apparentes et agissent comme régulateurs de la température intérieure grâce à la capacité thermique

de la dalle de plancher. Les systèmes d'éclairage et de conditionnement d'air sont intégrés et demeurent apparents.

#### Dynamique des planchers

Le comportement du plancher peut être étudié simplement par rapport à la fréquence fondamentale de la structure de plancher. Si cette fréquence est supérieure à une valeur comprise entre 2,6 et 4 Hz (2,6 Hz en France selon les annexes nationales aux EN 1993-1-1 et EN-1994-1-1), le plancher est en général considéré comme satisfaisant. Alors que ce critère simple est en général acceptable pour les espaces de travail à forte activité, il ne convient pas nécessairement pour les zones de bâtiments plus calmes, où les vibrations peuvent être plus perceptibles.

L'évaluation basée sur le niveau de vibration mesuré en termes d'accélération constitue une approche plus appropriée. Des valeurs d'accélération élevées indiquent un comportement dynamique plus perceptible par les occupants.

En pratique, on réduit la réponse du plancher (vibrations moins perceptibles) en augmentant la masse participant au mouvement. Les poutres à grande portée engendrent en général moins de problèmes dynamiques que celles à portée plus courte en raison de l'augmentation de la masse efficace due à l'aire de plancher supérieure. (Ce qui va à l'encontre des idées basées sur la seule fréquence naturelle).

On notera l'importance de la disposition des poutres. En effet, plus la longueur

*“La construction légère en acier peut être conçue de sorte à minimiser les effets des vibrations grâce à des méthodes utilisant des coefficients de réponse. Des poutres de plus grande portée mobilisent une masse efficace supérieure et réduisent la réponse aux vibrations.”*

des alignements continus de poutres secondaires dans une construction mixte augmente, plus les coefficients de réponse se réduisent puisqu'une masse plus importante participe au mouvement. La Figure 2.5 montre deux dispositions possibles de poutres. La réponse dynamique de la disposition (B) est plus faible (moins perceptible) que celle de la disposition (A), car la masse participante est supérieure dans la disposition (B).

L'amortissement réduit la réponse dynamique d'un plancher. La réponse du plancher est diminuée par la présence de cloisons positionnées à angle droit par rapport aux éléments vibrants principaux (en général les poutres secondaires). L'intégration de ce facteur dans le dimensionnement s'avère peu fiable, car l'effet exact des cloisons est difficile à déterminer. Les planchers nus, en particulier pendant la construction, peuvent être ressentis comme plus "réactifs" que lorsqu'ils sont occupés, car l'agencement intérieur d'un immeuble multiplie par trois l'amortissement du plancher.

## Sécurité incendie

Les concepteurs doivent évidemment prendre en compte la sécurité incendie lors du choix de la configuration de la structure, et étudier les aspects concernés, parmi lesquels :

- les issues de secours ;
- la dimension des compartiments ;
- les accès et équipements destinés aux services de lutte incendie ;
- la limitation de la propagation du feu ;
- la limitation et l'évacuation des fumées ;
- l'installation de sprinklers pour prévenir l'incendie et maîtriser son importance ;
- la stratégie de protection passive incendie.

## Protection incendie

Le comportement de la structure en cas d'incendie doit répondre aux exigences des normes prescrites, exprimées habituellement sous forme de durée de résistance au feu des éléments structuraux. Comme autre solution, on peut suivre une approche "d'ingénierie de la sécurité incendie", qui évalue la sécurité incendie du bâtiment dans sa globalité, en prenant en compte le développement naturel d'un feu, l'usage du bâtiment et les mesures actives



Figure 2.6 Les poutres de grande portée comportant une protection incendie appliquée hors chantier offrent une grande liberté pour l'implantation des équipements techniques

mises en œuvre pour réduire le risque d'apparition d'un feu important.

En général, l'ingénieur étudiera :

- les possibilités d'utilisation d'éléments en acier non protégés, par une analyse de type ingénierie prenant en compte le développement naturel d'un feu et son importance ;
- les systèmes comme les poteaux partiellement enrobés et les poutres intégrées, qui ne nécessitent aucune protection supplémentaire incendie ;
- les conséquences d'une intégration des équipements techniques sur le choix du système de protection incendie, ainsi que les solutions mises en œuvre hors chantier, comme l'application de revêtements intumescents ;
- les répercussions sur le programme de construction de l'application sur chantier d'une protection incendie ;
- l'aspect de la structure en acier apparente lors du choix d'un système de protection incendie ;
- les solutions utilisant des poutres moins nombreuses mais plus lourdes, qui permettent des économies globales de protection incendie.

## Performance relative à l'isolation thermique

L'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment relève traditionnellement de la responsabilité de l'architecte, mais l'ingénieur constructeur doit être impliqué dans l'élaboration des détails constructifs appropriés. Par exemple, les systèmes de support des revêtements doivent être étudiés, ainsi que les dispositions

constructives des éléments en acier traversant l'isolation comme les supports de balcons, de manière à réduire les effets de "ponts thermiques".

## Charges

Les charges s'exerçant sur les structures sont définies dans l'EN 1991 Eurocode 1, "Actions exercées sur les structures". Des valeurs recommandées pour les charges d'exploitation figurent dans la partie 1-1 et pour les charges d'incendie dans la partie 1-2. Les charges de neige sont données dans la Partie 1-3 et les actions dues au vent dans la partie 1-4. Les actions de la température font l'objet de la partie 1-5. Les actions exercées en cours de construction figurent dans la partie 1-6.

Les vérifications sont effectuées à l'état limite ultime (ELU) et à l'état limite de service (ELS).

Les charges de vent sont en général transmises depuis les façades, via les planchers, jusqu'à un noyau central en béton qui comprend également les cages d'escaliers et d'ascenseurs. On peut envisager l'utilisation de systèmes de contreventement dans les façades ou une construction en portique "à nœuds rigides" pour des bâtiments comportant jusqu'à six étages.

On donne souvent une contre flèche initiale aux poutres mixtes de grande portée afin de compenser la flèche de la poutre en acier due au poids propre. Les surcharges sont supportées par la

Élément	Poids typique
Éléments préfabriqués (portée 6 m, conçus pour une surcharge de 5 kN/m <sup>2</sup> )	3 to 4,5 kN/m <sup>2</sup>
Dalle mixte (En béton normal, de 130 mm d'épaisseur)	2,6 to 3,2 kN/m <sup>2</sup>
Dalle mixte (En béton allégé, de 130 mm d'épaisseur)	2,1 to 2,5 kN/m <sup>2</sup>
Equipements techniques	0,25 kN/m <sup>2</sup>
Plafonds	0,1 kN/m <sup>2</sup>
Structure en acier (de faible hauteur, 2 à 6 étages)	35 to 50 kg/m <sup>2</sup> (0,5 kN/m <sup>2</sup> )
Structure en acier (de hauteur moyenne, 7 à 12 étages)	40 to 70 kg/m <sup>2</sup> (0,7 kN/m <sup>2</sup> )

Table 2.1 Poids typiques d'éléments de construction

section mixte plus rigide. La flèche finale est une combinaison des flèches de construction et d'exploitation.

### Poids propre

Outre le poids propre des planchers et de l'ossature, il convient de prendre en compte une charge supplémentaire de 0,7 kN/m<sup>2</sup> pour les planchers surélevés, les plafonds et les équipements techniques du bâtiment.

Le tableau 2.1 présente des poids propres typiques pour les bâtiments à plusieurs étages.

### Surcharges

Les surcharges sont les charges variables appliquées sur la structure.

Elles comprennent les charges dues aux occupants, aux équipements, à l'ameublement et aux cloisons mobiles, ainsi qu'à l'accumulation de neige sur les toits.

L'intensité des surcharges varie en fonction de l'usage de l'aire de plancher spécifique considérée. Ainsi, on applique des valeurs différentes pour un local technique ou une zone de stockage.

L'EN 1991-1-1 propose des valeurs de surcharge sur plancher minimales pour différents usages de bâtiments. Pour des bureaux, la surcharge de calcul habituelle est de 3 kN/m<sup>2</sup>. En outre, on peut ajouter jusqu'à 1 kN/m<sup>2</sup> pour les cloisons mobiles. Pour les zones de stockage, on peut utiliser une valeur plus élevée, de 5 kN/m<sup>2</sup>.

# 03 Systèmes de Planchers

**Ce chapitre décrit les principaux systèmes de planchers et en présente les caractéristiques accompagnées de conseils de dimensionnement.**

Les structures de planchers sont composées de poutres et de dalles. Les poutres sont assemblées sur des poteaux positionnés en vue d'une utilisation optimale de l'espace, la réalisation d'espaces libres de tout poteau est devenue une exigence importante. De nombreux systèmes de poutres de grande longueur ont été développés, avec des portées atteignant 18 m, ce qui évite l'utilisation de poteaux intermédiaires.

Outre la fonction consistant à supporter les surcharges, les planchers agissent souvent comme des diaphragmes horizontaux, assurant la transmission des efforts horizontaux vers les contreventements verticaux ou les noyaux. Les composants des planchers (dalle de plancher, tôles profilées et poutres) doivent également assurer la résistance incendie exigée.

Des équipements techniques peuvent être intégrés dans la zone structurale ou suspendus sous le plancher. Les planchers peuvent recevoir soit une finition appliquée directement sur la dalle, une chape ou un plancher surélevé permettant l'installation des équipements électriques et de communication.

Les systèmes de planchers suivants sont décrits :

- poutres mixtes et dalles mixtes,
- poutres alvéolaires en acier laminés à chaud ou des profilés reconstitués PRS,
- poutres mixtes avec éléments préfabriqués en béton,
- poutres de plancher intégrées (également appelées poutres de plancher de faible épaisseur),
- poutres non mixtes avec dalles en béton préfabriqués.

## *Construction mixte*

La plupart des systèmes de construction métallique pour bâtiments commerciaux sont réalisés en construction mixte.

Les connecteurs de cisaillement sont habituellement des goujons, soudés sur les poutres directement sur chantier au travers des tôles profilées en acier.

Les tôles profilées au profil en queue d'aronde demandent une quantité de béton plus importante que les tôles à profil trapézoïdal, mais elles possèdent une meilleure résistance incendie pour une même épaisseur de dalle. Les tôles à profil trapézoïdal ont des portées supérieures, mais la résistance au cisaillement des goujons est réduite en raison de la plus grande hauteur de profil.

En général, on utilise du béton normal à 2400 kg/m<sup>3</sup> bien que, dans certains pays, le béton léger de 1700 à 1950 kg/m<sup>3</sup> soit très répandu et efficace.

Des dalles alvéolaires préfabriquées peuvent être utilisées sur des poutres acier non mixtes ou en mode mixte avec des goujons pré-soudés et des armatures positionnées dans les alvéoles remplies de béton. Si l'on utilise des pré-dalles, les armatures seront positionnées dans la dalle de compression en béton coulé sur chantier.

*Poutres mixtes*

*Poutres de plancher intégrées*

*Poutres mixtes alvéolaires*

*Poutres mixtes de grande portée*

*Poutres mixtes avec éléments préfabriqués en béton*

*Poutres non mixtes avec éléments préfabriqués*

## Poutres mixtes et dalles mixtes utilisées avec des tôles profilées en acier

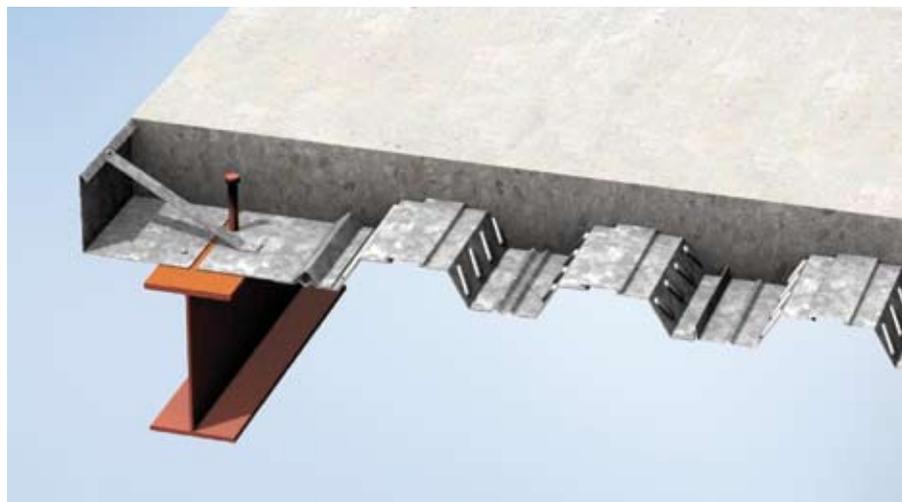


Figure 3.1 Poutre de rive dans une construction mixte

### Description

Le plancher mixte est constitué de poutres en acier à profil en I ou en H munies de connecteurs soudés sur la semelle supérieure pour permettre à la poutre de collaborer avec la dalle en béton du plancher mixte coulée au chantier (Figure 3.1). La dalle en béton et la poutre en acier collaborent pour augmenter la rigidité et la résistance en flexion du plancher construit.

Les dalles mixtes sont positionnées entre des poutres secondaires, qui peuvent à leur tour être supportées par des poutres principales. Les poutres principales et secondaires sont conçues comme mixtes. Les poutres de rive peuvent être non mixtes, bien qu'éventuellement munies de connecteurs pour des raisons d'intégrité structurale et de transmission des charges de vent. Un exemple typique de configuration de plancher est illustré dans la Figure 3.2.

La dalle de plancher est constituée de tôles profilées peu profondes et d'une dalle de compression en béton, collaborant ensemble. Un treillis d'armature est placé dans la dalle pour améliorer sa résistance incendie, répartir les charges locales, jouer le rôle d'armature transversale autour des connecteurs et pour limiter la fissuration de la dalle. Les tôles profilées sont normalement dimensionnées en configuration non étayée. Elles supportent le poids du béton frais ainsi que les charges de construction en tant qu'élément continu sur au moins deux travées. La dalle mixte est normalement calculée comme simplement appuyée sur les poutres.

Les logiciels de pré dimensionnement sont librement disponibles à l'adresse : [www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections), [www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org) et [www.corusconstruction.com](http://www.corusconstruction.com).

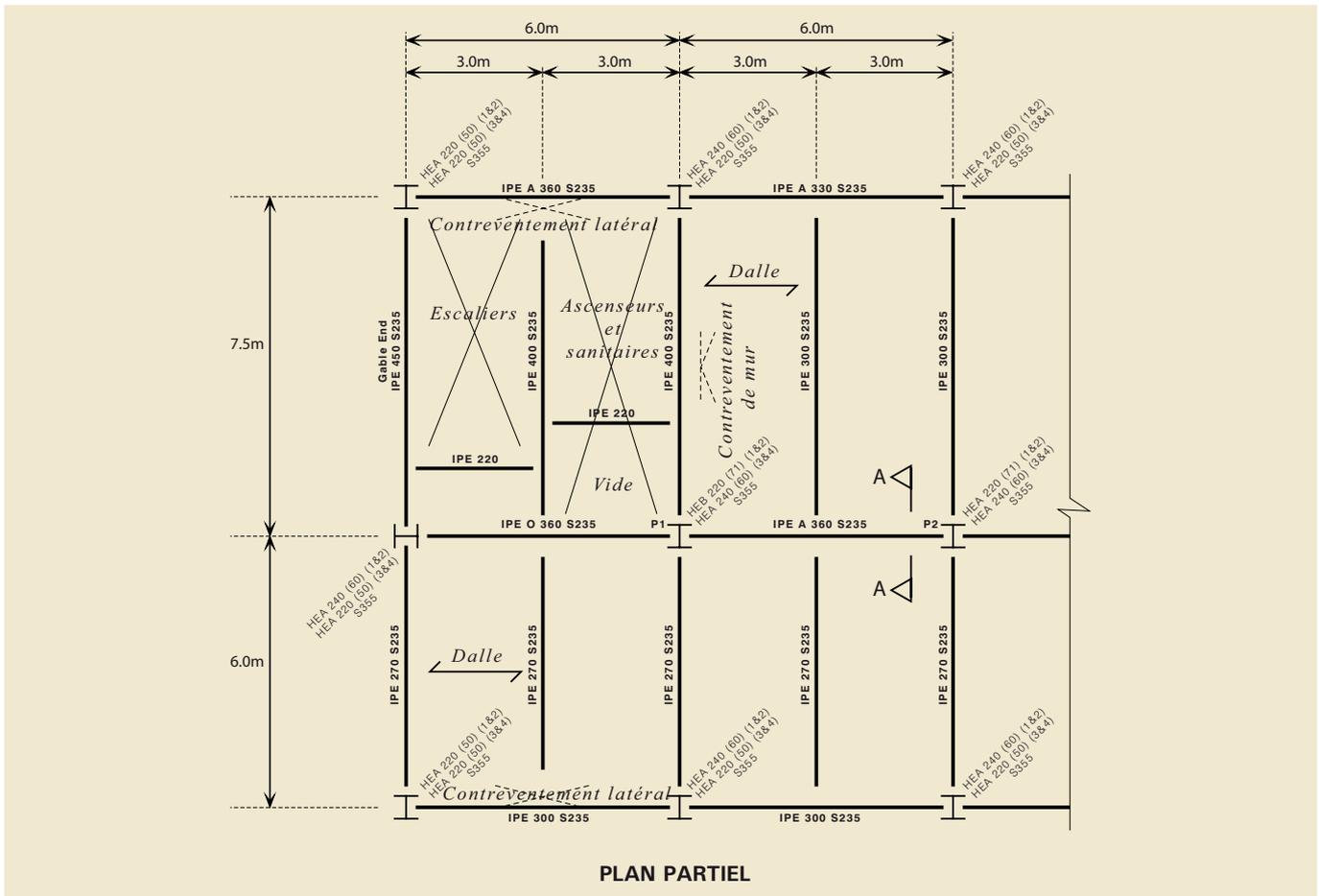
### Gamme de portées habituelles de poutres

Poutres secondaires : portée de 6 à 15 m avec un espacement habituel de 2,5 m à 4 m. Poutres principales : portée de 6 à 12 m.

### Aspects importants concernant la conception du plancher

Les poutres secondaires doivent normalement être positionnées de sorte à éviter l'étayage des tôles profilées en cours de construction. En général, on préfère utiliser des poutres secondaires de portée plus grande que les poutres principales.

Dans le cas de poutres de faible hauteur les équipements techniques passent sous les poutres et cela a donc des conséquences sur l'épaisseur de plancher totale.



Zone de plancher  
 = 150 mm plancher surélevé  
 + 130 mm dalle  
 + 352 mm poutre  
 + 150 mm plafond & éclairage  
 = 782 mm ≈ 800 mm

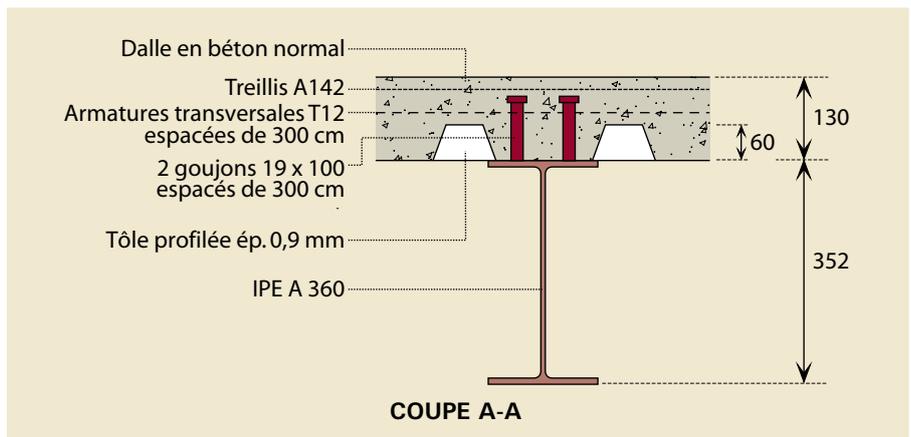


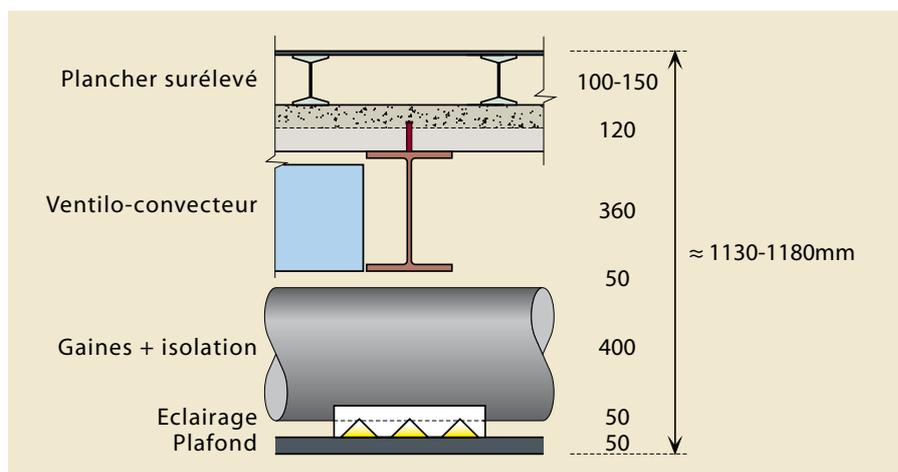
Figure 3.2 Poutres mixtes typiques ~ exemple de configuration de plancher en acier pour un bâtiment à trame rectangulaire de 4 étages

**Aspects importants concernant la conception du plancher (suite)**

Dans le cas de poutres de plus grande hauteur, on peut ménager des ouvertures dans l'âme de la poutre pour le passage des équipements techniques.

Les poutres de rive peuvent nécessiter une hauteur supérieure à celle des poutres intérieures, en raison de la limitation des flèches dues au poids des parements, particulièrement des vitrages.

Figure 3.3 Épaisseur totale de plancher - pour des équipements techniques situés sous le plancher dans une construction mixte



<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poutres de hauteur et de poids inférieurs à celles utilisées en construction non mixte, permettant légèreté et économies.</li> <li>• Grande disponibilité des profilés en acier laminés à chaud.</li> </ul>
<b>Intégration des équipements techniques</b>	<p>Les unités principales de chauffage et de ventilation peuvent être positionnées dans le grand espace situé entre les poutres, comme dans la Figure 3.3, en limitant le passage des gaines sous les poutres. On peut faire passer les circulations par des ouvertures locales pratiquées dans l'âme, dont la hauteur est limitée à 60% de la hauteur du profil.</p>
<b>Avant-projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prendre pour hypothèse des poutres secondaires de 6 à 15 m de portée et espacées de 3 m. Les poutres principales peuvent avoir une portée égale à 2 ou 3 fois l'espacement des poutres secondaires, soit 6 à 9 m.</li> <li>2. Choisir les tôles profilées et la dalle, en utilisant les tableaux de charges ou le logiciel du fabricant. Utiliser des tôles profilées non étayées en cours de construction. S'assurer que l'épaisseur de dalle et l'armature choisies satisfont les exigences de résistance incendie.</li> <li>3. L'orientation des tôles profilées est différente pour les poutres primaires et secondaires. Utiliser des connecteurs espacés de 300 mm (ou selon l'espacement des nervures des tôles) pour les poutres secondaires. Espacer les connecteurs de 150 mm pour les poutres principales.</li> </ol>
<b>Dimensions habituelles de profilés</b>	<p>Hauteur de poutre (section en acier) <math>\approx</math> portée/24 (poutres secondaires) ou portée/18 (poutres principales) habituellement.</p> <p>Poutres secondaires : IPE300 pour une portée de 7,5 m et un espacement de 3,75 m. Poutres principales : IPE360 pour une portée de 7,5 m et un espacement de 7,5 m.</p>
<b>Nuance d'acier</b>	<p>Poutres secondaires et poutres de rive : en général, acier S235 ou S275. Poutres principales : acier S355.</p>
<b>Épaisseur totale de plancher</b>	<p>Habituellement, l'épaisseur de plancher est de 1000 à 1200 mm pour une trame de 9 m avec un faux plancher de 150 mm et des gaines d'air conditionné positionnées sous les poutres.</p>

<b>Type de béton</b>	On peut utiliser du béton de poids normal de masse volumique à sec : 2400 kg/m <sup>3</sup> , ou du béton léger : 1850 kg/m <sup>3</sup> . Le béton normal permet une meilleure atténuation acoustique, et il est donc utilisé pour les immeubles résidentiels, les hôpitaux, etc. Le béton léger convient mieux pour des questions de poids global du bâtiment et pour les fondations, il autorise des portées plus longues, et possède de meilleures propriétés coupe-feu, permettant l'utilisation de dalles plus minces (10 mm de moins que pour le béton normal). Il n'est pas disponible partout en Europe.
<b>Qualité de béton</b>	Utiliser la qualité C25/30 au minimum. Utiliser la qualité C35/45 pour les couches d'usure.
<b>Protection incendie</b>	Sur poutres (habituellement) : soit revêtement intumescent (épaisseur de 1,5 mm pour une résistance incendie allant jusqu'à 90 minutes), ou ; par écran (plaques d'épaisseur de 15 à 25 mm pour une résistance incendie allant jusqu'à 90 minutes).  Sur poteaux (habituellement) : plaques de 15 mm d'épaisseur pour une résistance allant jusqu'à 60 minutes, de 25 mm d'épaisseur pour une résistance de 90 minutes.
<b>Assemblages</b>	Assemblages simples (articulés) : cornières doubles, platines d'about partielles, ou cornières pour les assemblages des poutres secondaires sur les poutres principales.

## Poutres de plancher intégrées

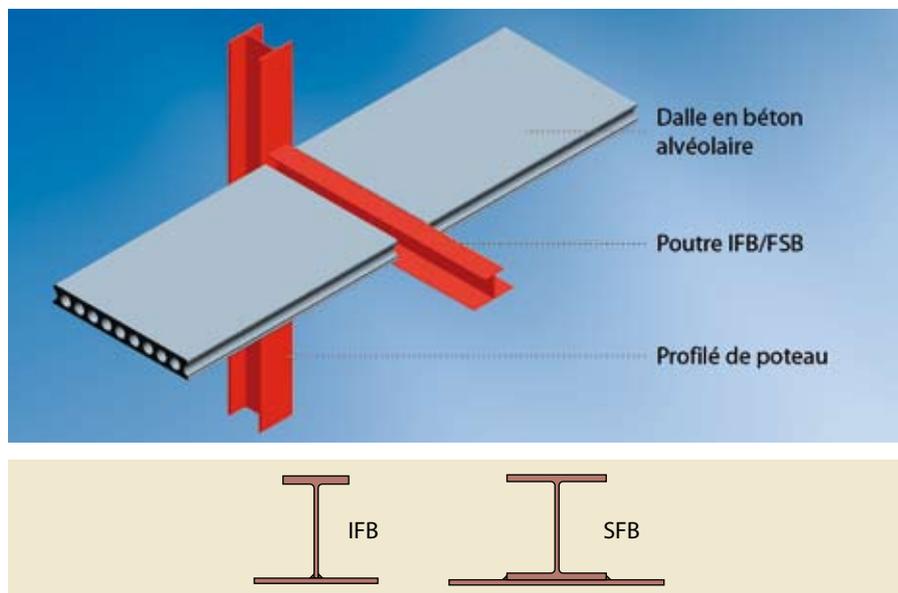


Figure 3.4 Plancher intégré typique réalisé au moyen d'une dalle en béton préfabriqué

### Description

Les poutres de plancher intégrées sont des systèmes de planchers de faible épaisseur constitués de poutres asymétriques supportant des éléments en béton préfabriqués, comme des éléments alvéolaires. Un exemple de système à poutres de plancher intégrées est le système IFB, constitué d'un profilé IPE ou HE découpé longitudinalement en deux parties en T égaux et ensuite muni d'une plaque soudée sur l'âme. Dans le système SFB, une plaque est soudée sous la semelle inférieure d'un profilé HE ou UC, voir Figure 3.4. Cette plaque débord d'au moins 100 mm de part et d'autre de la poutre afin de supporter les éléments en béton préfabriqués. Il est recommandé d'utiliser une dalle de compression en béton munie d'une armature, assurant la liaison des éléments en béton préfabriqués et agissant comme un diaphragme. En l'absence de dalle de compression, il convient de placer l'armature au travers de l'âme de la poutre pour assurer la liaison du plancher de part et d'autre, et satisfaire les exigences concernant la solidité et l'action de diaphragme.

Deux options sont possibles :

- section non mixte,
- section mixte - si l'épaisseur de dalle au-dessus des poutres est suffisante par rapport à la hauteur des connecteurs.

Les configurations concernant les portées des poutres sont normalement basées sur une trame de 5 à 7,5 m avec une épaisseur de dalle de 200 à 350 mm (voir Figure 3.5 pour des informations concernant les portées). Pour les poutres de plancher intégrées, la portée de la dalle est en général supérieure à la portée de la poutre. La gamme de profilés pour les poutres intégrées peut varier d'une hauteur de 200 à 350 mm, selon l'épaisseur de béton mesurée à la partie supérieure de la poutre (la semelle supérieure peut affleurer la partie supérieure de la dalle).

Les poutres de rive peuvent être des sections IFB/SFB (Integrated Floor Beam / Slim Floor Beam, produits ArcelorMittal) à géométrie modifiée ou des profils creux rectangulaires (RHS), sur lesquels on soude une plaque constituant la semelle inférieure. Les poutres de rives sont souvent calculées comme étant non mixtes. Elles sont munies de goujons qui servent uniquement pour transmettre l'effet diaphragme.

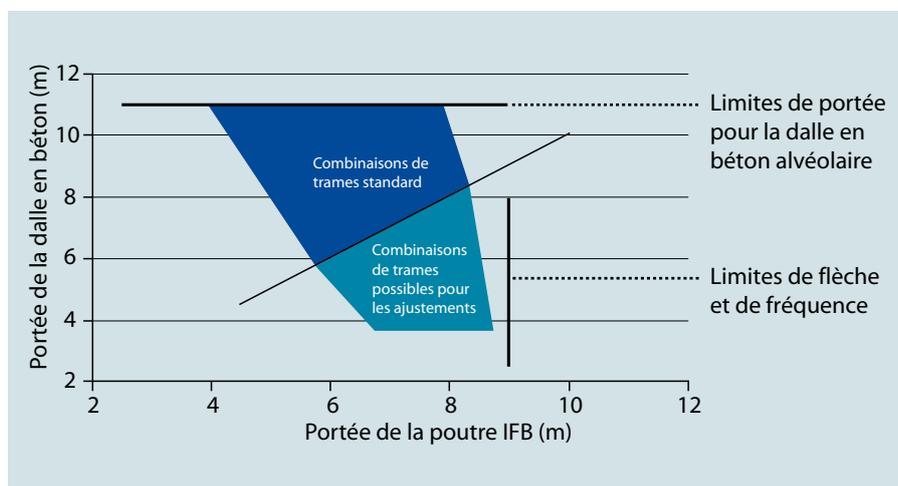


Figure 3.5 *Domaine d'application des poutres de plancher intégrées*

#### Description (suite)

Plutôt que des éléments en béton préfabriqués, on peut aussi utiliser des tôles profilées en acier à ondes profondes. Cette application est étudiée plus loin dans la section consacrée au système Slimdek.

Le logiciel de pré dimensionnement est librement disponible à l'adresse : [www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections). Un logiciel concernant les planchers de faible épaisseur est disponible à l'adresse : [www.corusconstruction.com](http://www.corusconstruction.com).

#### Gamme de portées de poutres habituelles

5 m à 7,5 m en général, bien que l'on puisse réaliser des portées supérieures en utilisant des poutres de plus grande hauteur et des éléments en béton préfabriqués.

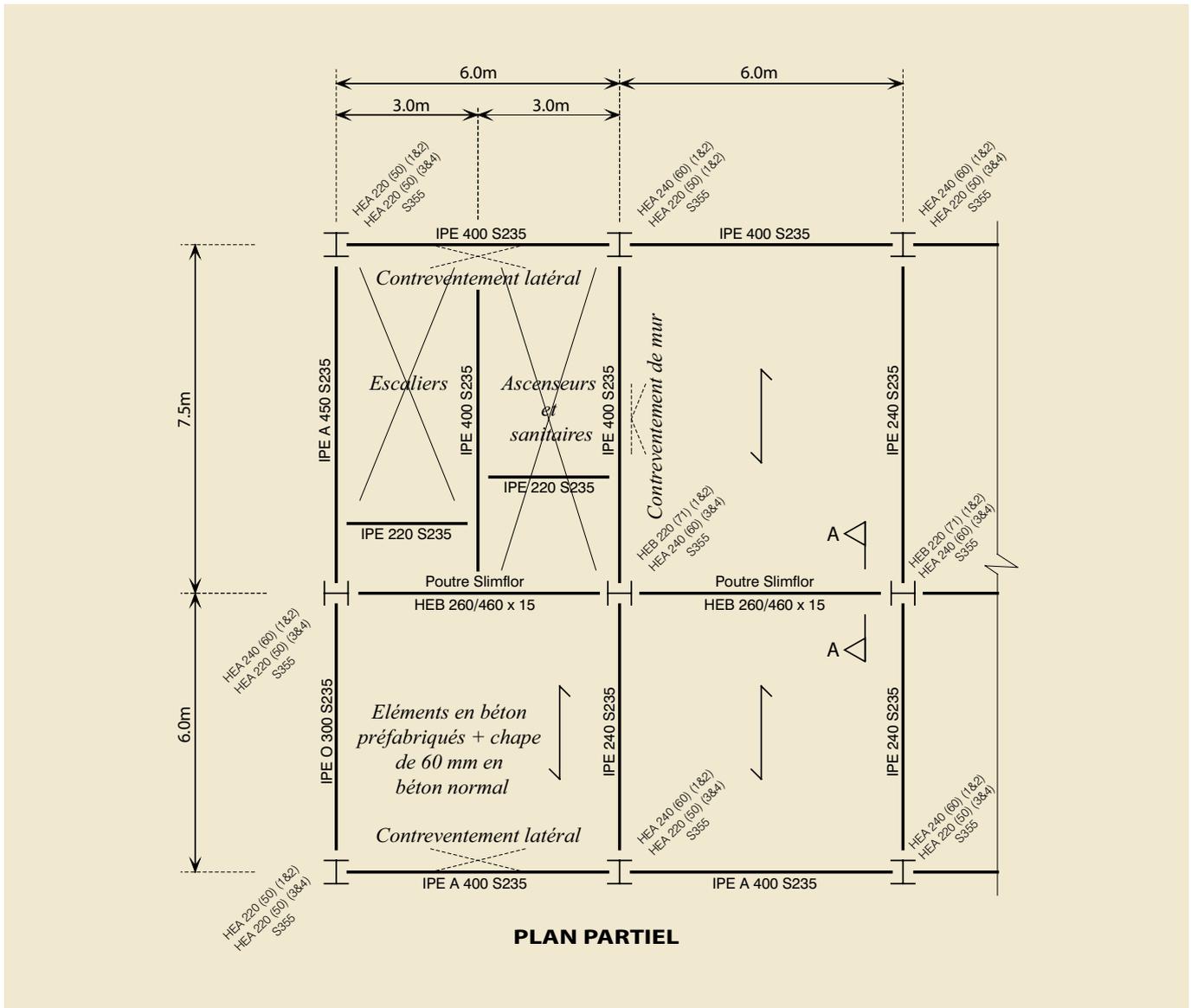
#### Aspects importants concernant la conception du plancher

Dans le cas de poutres intégrées supportant des dalles en béton préfabriqués, les effets de la torsion doivent être vérifiés par calcul. Ces effets se produisent également en phase de construction. Les poutres chargées d'un seul côté sont relativement lourdes en raison de la combinaison de flexion et de torsion. Cela doit être pris en compte dans le dimensionnement de la poutre. La solution la plus économique est en général une poutre principale centrale avec des éléments préfabriqués reposant sur des poutres de rive en retombée, bien que l'on puisse utiliser des poutres de rive en tube rectangulaire (RHS) ou IFB/SFB pour fermer le plancher dans le cas de façades largement vitrées.

L'épaisseur de dalle dépend de l'épaisseur de béton sur les éléments préfabriqués (principalement pour la résistance au feu), les IFB/SFB et les poutres de rive.

Un treillis d'armature est placé dans la couche de béton sur la section en acier. Si la semelle supérieure des profilés IFB/SFB affleure la surface du béton, les dalles situées de part et d'autre des profilés IFB/SFB doivent être liaisonnées pour satisfaire les exigences de résistance. Ceci est normalement réalisé au moyen d'armatures (habituellement des barres T12 à entraxes de 600 mm) passant au travers des âmes des profilés IFB/SFB. Les poutres IFB/SFB sont habituellement non mixtes, bien que l'on puisse réaliser un dimensionnement mixte si l'on utilise des connecteurs soudés.

Dans le cas de poutres de rive mixtes, des boucles d'armatures en U doivent enserrer/contourner les connecteurs, et être ancrés dans les éléments préfabriqués ou noyés dans la dalle de compression porteuse.



Zone de plancher  
 = 150 mm plancher surélevé  
 + 260 mm élément en béton préfabriqué & chape  
 + 150 mm plafond & éclairage  
 = 560mm ≈ 600mm

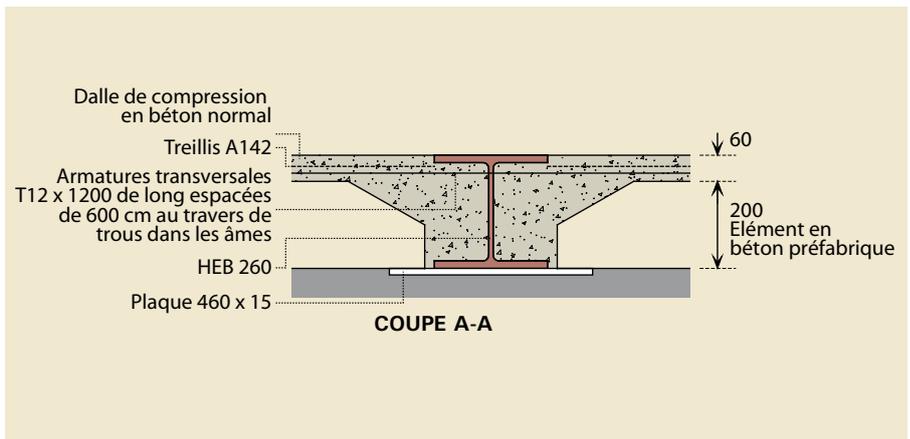


Figure 3.6 Disposition des poutres intégrées et des dalles préfabriquées en béton pour un bâtiment à trame rectangulaire de 4 étages

<b>Aspects importants concernant la conception du plancher (suite)</b>	Il convient d'étudier les dispositions constructives des assemblages aux poteaux, car les semelles des profilés IFB/SFB sont plus larges que les poteaux et peuvent nécessiter un grugeage.
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les poutres n'exigent normalement aucune protection incendie pour une durée de résistance incendie allant jusqu'à 60 minutes.</li> <li>• Une épaisseur de plancher réduite permet de diminuer également la hauteur globale du bâtiment et des parements.</li> <li>• Une sous-face plane permet une installation aisée des équipements techniques et offre une flexibilité de positionnement des murs intérieurs. Les sous-faces peuvent rester apparentes.</li> <li>• Les poutres de plancher intégrées peuvent être conçues comme un système de construction essentiellement "sec", avec un haut degré de préfabrication et un temps d'installation réduit.</li> </ul>
<b>Intégration des équipements techniques</b>	Possibilités illimitées de positionnement des équipements techniques sous le plancher.
<b>Avant-projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliser une trame de plancher de 6 m, 7,5 m ou 9 m. Les éléments en béton préfabriqués portent généralement selon la plus grande dimension de la trame du plancher.</li> <li>2. Choisir l'élément en béton préfabriqué à partir des données fournies par le fabricant. Le rapport de portée/épaisseur maximum recommandé est de 35 afin d'obtenir une résistance au cisaillement suffisante des éléments préfabriqués. Il est également recommandé de ménager un appui minimum de 75 mm aux extrémités pour des dalles en comportement non mixte et de 60 mm pour des dalles en comportement mixte. Les extrémités des éléments en béton préfabriqués possèdent souvent une forme (chanfrein) laissant un espace libre suffisant pour le coulage du béton autour des profilés en acier.</li> <li>3. Dimensionner les profilés IFB/SFB au moyen d'un logiciel. Les poutres peuvent être calculées comme mixtes ou non mixtes. Pour les poutres non mixtes, munir les dalles d'armatures transversales passant au travers de l'âme de la poutre. Pour les poutres mixtes, une épaisseur minimale de 15 mm de béton au-dessus des goujons est exigée.</li> <li>4. Dimensionner les poutres de rive, telles les tubes rectangulaires RHS, ou les IFB/SFB, comme étant chargées d'un seul côté, ou utiliser des poutres avec retombées. Les poutres de rive mixtes exigent de retourner les armatures transversales en boucles.</li> </ol>

**Dimensions habituelles de profilés**

Portée de poutre	Portée de dalle (m)	
	6 m	8 m
5 m	HEA 240	HEB 260
6 m	HEB 260	HEB 280
8 m	HEB 300	HEB 320

Table 3.1 Dimensions habituelles de poutres SFB (plus plaque en acier de 15 mm)

Dimensions habituelles de profilés (suite)	Portée de poutre	Portée de dalle (m)	
		6 m	8 m
	5 m	1/2 IPE 500	1/2 HEB 450
	6 m	1/2 HEA 450	1/2 HEA 500
	8 m	1/2 HEA 600	1/2 HEB 600

*Table 3.2 Dimensions habituelles de poutres IFB (plus plaque en acier de 20 mm)*

Éléments en béton alvéolaires préfabriqués : choisir une épaisseur de 150 mm pour une portée de 6 m ; une épaisseur de 200 mm pour une portée de 7,5 m ; une épaisseur de 260 à 300 mm pour une portée de 9 m. Ces dimensions permettent une rigidité ainsi qu'une résistance en flexion et en cisaillement suffisantes.

Des variantes de poutres de plancher intégrées de plus longues portées ont été développées, telles celles montrées sur la Figure 3.7. Elles utilisent des fers pleins ou des tubes carrés (SHS) en tant que tirants sous-tendant la poutre. On peut obtenir des travées de 9 à 12 m avec cette forme de construction.

**Nuance d'acier** Les profilés IFB/SFB sont disponibles dans toutes les nuances d'acier courantes, par ex. de S235 à S460.

**Épaisseur totale de plancher** 600 mm avec de petits équipements techniques placés sous les poutres (et avec un plancher surélevé).  
1000 mm avec des gaines d'air conditionné sous les poutres (et avec un plancher surélevé).

**Protection incendie** L'enrobage de béton placé autour des poutres est normalement suffisant pour assurer une résistance incendie de 60 minutes. Pour une résistance de 90 minutes, on peut choisir d'utiliser un revêtement intumescent ou une protection par plaques de plâtre appliquées sous la semelle. Une réalisation soignée des détails constructifs de l'armature transversale encastrée dans les éléments alvéolaires, ainsi qu'un remplissage correct des alvéoles adjacents à la poutre avec du béton, sont nécessaires pour satisfaire les exigences concernant l'étanchéité incendie de la structure.

**Assemblages** Les poutres intégrées exigent des assemblages avec platines d'about (habituellement à 6 ou 8 boulons) pour supporter les charges de torsion agissant sur la poutre. Les poutres de rive en sections tubulaires rectangulaires (RHS) sont souvent munies d'assemblages à platine d'about débordante assurant la résistance en torsion.

Figure 3.7 Version longue de poutres de plancher intégrées, utilisées pour la Chambre de Commerce du Luxembourg



## Poutres mixtes alvéolaires avec dalles mixtes et tôles profilées en acier



Figure 3.8 Poutres alvéolaires secondaires de grande portée comportant des ouvertures circulaires régulières

### Description

Les poutres alvéolaires sont des poutres comportant des ouvertures circulaires dans l'âme à intervalles réguliers sur leur longueur. Ces poutres sont reconstituées à partir de trois plaques formant PRS (Profil Reconstitué Soudé), ou en assemblant par soudage des tronçons en T découpés dans des profilés en acier laminés à chaud. Les ouvertures, ou "alvéoles", sont normalement circulaires, mais peuvent être oblongues, rectangulaires ou hexagonales. Dans les zones soumises à un cisaillement élevé, ces ouvertures peuvent être facilement obturées ou raidies.

Les poutres alvéolaires peuvent être disposées comme des poutres secondaires de grande portée supportant directement la dalle de plancher, ou comme des poutres principales à grande portée supportant d'autres poutres secondaires alvéolaires ou en profilé en I.

Le logiciel de pré dimensionnement est librement disponible à l'adresse : [www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections) et le logiciel Cellbeam est disponible à l'adresse : [www.westok.co.uk](http://www.westok.co.uk).

### Gamme habituelles de portées de poutres

10 - 18 m pour les poutres alvéolaires utilisées comme poutres secondaires.  
9 - 12 m pour les poutres alvéolaires utilisées comme poutres principales

### Aspects importants concernant la conception du plancher

Les poutres secondaires doivent être espacées de 2,5 à 4 m afin d'éviter l'étaiyage des tôles profilées pendant le coulage du béton.

On utilise moins souvent des poutres principales alvéolaires à grande portée car elles supportent des efforts tranchants élevés et leur dimensionnement est donc inefficace, sauf si l'on augmente l'épaisseur d'âme ou si l'on réduit la dimension des ouvertures.

Les ouvertures de grandes dimensions (oblongues ou rectangulaires) doivent normalement être situées dans des zones soumises à un cisaillement peu élevé, par exemple dans le tiers central de la portée pour les poutres uniformément chargées.

### Avantages

- Longues portées avec une utilisation efficace de l'acier.
- Poutres relativement légères, par rapport à d'autres systèmes à grande portée.
- Possibilité d'intégration des équipements techniques dans l'épaisseur de plancher, permettant une réduction de la hauteur totale du bâtiment.
- Possibilité d'introduction d'une contre flèche initiale en cours de fabrication pour réduire les flèches apparentes.

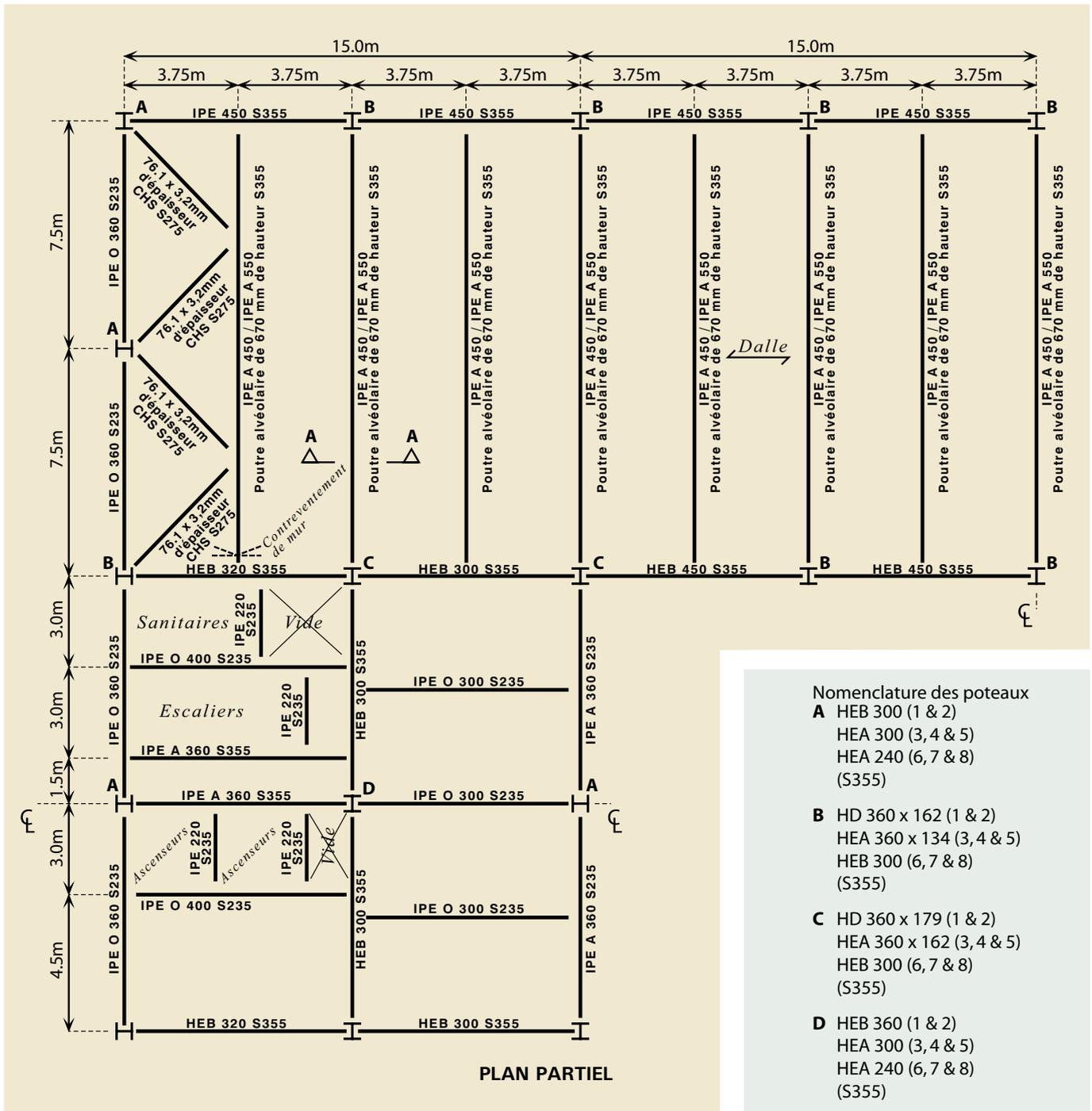


Figure 3.9 Poutres alvéolaires (poutres secondaires de grande portée) et dalles mixtes - exemple de disposition de structure de plancher en acier pour un bâtiment à trame rectangulaire de 8 étages

<b>Intégration des équipements techniques</b>	Les ouvertures régulières dans l'âme permettent de faire passer les gaines circulaires au travers des poutres, (Figure 3.10.) Les diamètres des ouvertures peuvent être choisis en fonction des exigences des équipements techniques. Ils doivent permettre l'installation d'une isolation autour de ces équipements. Les ouvertures pratiquées dans les âmes des différentes poutres doivent normalement être alignées afin de permettre une certaine liberté pour l'implantation des équipements techniques.
<b>Avant-projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliser des poutres alvéolaires comme poutres secondaires à grande portée espacées de 3 à 4 m dans une trame de poteaux rectangulaire, avec des poutres principales espacées de 2 ou 3 fois la valeur de l'espacement des poutres secondaires.</li> <li>2. Choisir les tôles profilées et la dalle au moyen des tableaux de charges ou du logiciel du fabricant de tôles profilées. Choisir l'épaisseur de dalle et l'armature de sorte à satisfaire les exigences de résistance incendie.</li> <li>3. Dimensionner les poutres alvéolaires au moyen du logiciel du fabricant. Le diamètre des ouvertures doit être normalement de l'ordre de 60 à 80% de la hauteur de la poutre. Les ouvertures oblongues peuvent nécessiter l'ajout de raidisseurs horizontaux. La dimension et les positions des ouvertures doivent normalement faire l'objet d'un accord avec l'ingénieur chargé des équipements techniques.</li> </ol>
<b>Dimensions habituelles de profilés</b>	Hauteur des poutres alvéolaires $\approx$ portée/22 ; par exemple, poutre alvéolaire d'une hauteur de 700 mm pour une portée de 15 m.
<b>Nuance d'acier</b>	La nuance S355 est préférée pour les poutres alvéolaires en raison des effets des contraintes locales élevées autour des ouvertures.
<b>Épaisseur totale de plancher</b>	1000 à 1200 mm. Par exemple, 1050 mm pour des poutres alvéolaires d'une portée de 15 m comportant des ouvertures régulières de 400 mm, comme indiqué dans la Figure 3.10.
<b>Protection incendie</b>	Un revêtement Intumescent d'une épaisseur de 1,5 à 2 mm peut être appliqué sur chantier. Une application hors chantier peut également être économique. Une protection incendie supplémentaire peut s'avérer nécessaire, car facteur de massivité de la section alvéolaire est supérieur à celui du profil en acier équivalent.

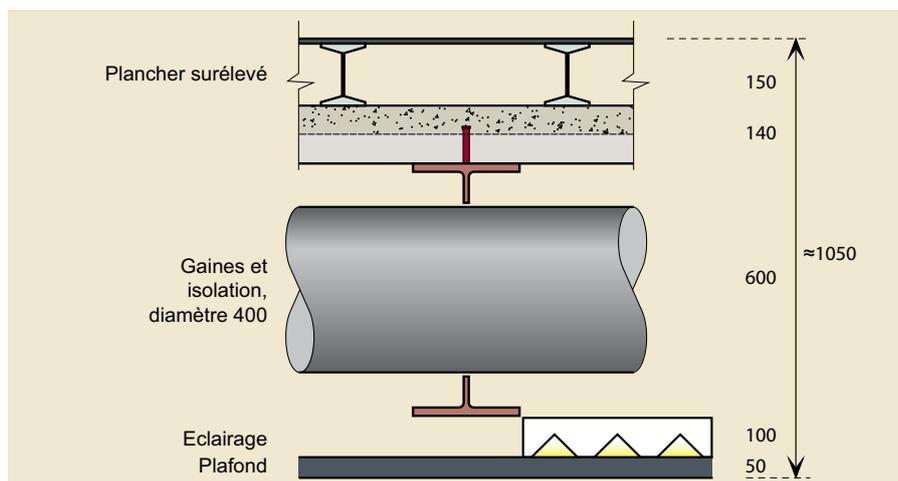


Figure 3.10 Poutre alvéolaire - Section transversale typique montrant l'intégration des équipements techniques

## Poutres mixtes de grande portée à âmes ajourées



Figure 3.11 Poutres alvéolaires laminées à chaud avec protection incendie appliquée hors chantier

<b>Description</b>	<p>Ce système est constitué de poutres mixtes faites de profilés laminés ou reconstitués, supportant une dalle mixte dans une configuration à grande portée, de 12 à 18 m habituellement. Il existe deux possibilités de trames de plancher : soit avec des poutres secondaires à grande portée supportées par des poutres principales à courte portée, soit avec des poutres secondaires à courte portée supportées par des poutres principales à grande portée.</p> <p>La hauteur des poutres à grande portée permet de ménager des ouvertures dans l'âme de la poutre pour le passage des équipements techniques, en cas de besoin. Ces ouvertures peuvent être de forme circulaire, oblongue ou rectangulaire, et représentent 60 à 80% de la hauteur de la poutre. La présence de raidisseurs d'âme peut s'avérer nécessaire autour des ouvertures de grandes dimensions.</p>
<b>Gamme habituelles de portées de poutre</b>	<p>Poutres secondaires à grande portée : portée de 9 m à 15 m espacées de 3 à 4 m.                  Poutres principales à grande portée : portée de 9 m à 12 m espacées de 6 à 9 m.</p>
<b>Aspects importants concernant la conception du plancher</b>	<p>L'espacement des poutres secondaires est de 3 à 4 m pour éviter l'étaiyage des tôles profilées pendant la construction. Les ouvertures (oblongues ou rectangulaires) doivent normalement être positionnées dans des zones où le cisaillement est peu élevé, par exemple dans le tiers central de la poutre pour les poutres uniformément chargées.</p>
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réalisation de zones de grande longueur sans poteaux grâce à la grande portée des poutres.</li> <li>• Les dimensions des sections peuvent être choisies en fonction des charges appliquées et des exigences concernant les équipements techniques.</li> <li>• Réduction de l'épaisseur totale du plancher grâce à l'intégration des équipements techniques, permettant une réduction de la hauteur totale du bâtiment.</li> </ul>
<b>Intégration des équipements techniques</b>	<p>Les gaines des équipements techniques passent au travers des ouvertures ménagées dans l'âme des poutres. Les unités et les gaines de plus grandes dimensions peuvent être positionnées entre les poutres</p>

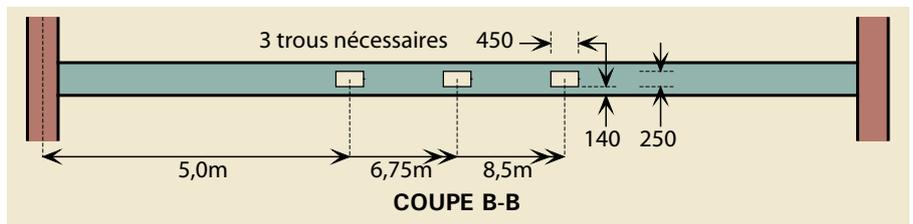
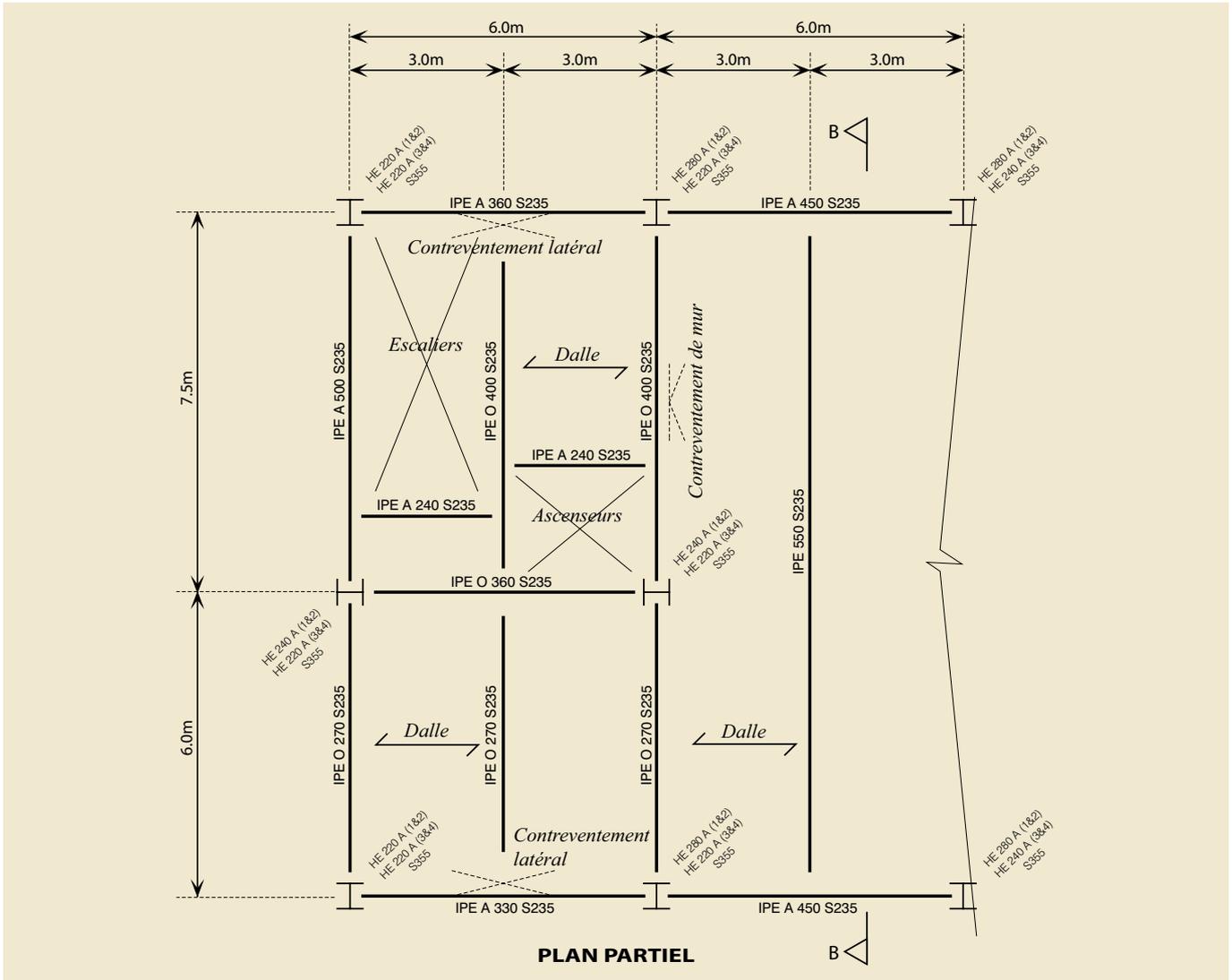


Figure 3.12 Poutres mixtes de grande portée (comportant des ouvertures rectangulaires dans les âmes)

<b>Avant-projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliser des poutres secondaires de grande portée espacées de 3 à 4 m, et des poutres principales de 6 m à 9 m de portée. Une autre solution consiste à utiliser des poutres principales à grande portée et des poutres secondaires d'une portée de 6 ou 7,5 m.</li> <li>2. Choisir les tôles profilées et la dalle au moyen des tableaux de charges ou du logiciel d'un fabricant de tôles profilées, en prenant en compte la résistance incendie.</li> <li>3. Dimensionner les poutres au moyen du logiciel disponible. Choisir les dimensions et les positions des ouvertures dans les âmes, en tenant compte de l'isolation nécessaire autour des équipements techniques.</li> </ol>
<b>Dimensions habituelles de profilés</b>	Hauteur de poutre $\approx$ portée/15 à portée/22 avec des sections asymétriques.
<b>Nuance d'acier</b>	S275 pour les poutres dimensionnées par le critère de flèche, ou S355 pour des poutres comportant un grand nombre d'ouvertures.
<b>Épaisseur totale de plancher</b>	1000 mm pour une portée de 13,5 m (avec des ouvertures de 350 mm de hauteur dans les âmes). 1100 mm pour une portée de 15 m (avec des ouvertures de 400 mm de hauteur dans les âmes).
<b>Protection incendie</b>	Plaques ou revêtements intumescents. Les revêtements intumescents peuvent être appliqués hors chantier en couche unique d'une épaisseur maximum de 1,8 mm pour obtenir une résistance incendie de 90 minutes

## Poutres mixtes avec éléments préfabriqués en béton



Figure 3.13 Construction mixte d'un plancher réalisée au moyen d'éléments alvéolaires préfabriqués en béton et de poutres alvéolaires

### Description

Ce système est composé de poutres en acier munies de goujons soudés sur la semelle supérieure. Les poutres supportent des éléments préfabriqués en béton. On complète la dalle en coulant du béton sur la poutre entre les extrémités des éléments, et en général l'on recommande d'ajouter une table de compression en béton sur les éléments. Les éléments préfabriqués sont des dalles alvéolaires, normalement de 150 à 260 mm d'épaisseur, ou des plaques pleines de 40 mm à 100 mm d'épaisseur. Les semelles doivent être suffisamment larges pour obtenir une longueur d'appui suffisante des éléments préfabriqués, et un jeu suffisant doit être ménagé pour une action efficace des goujons connecteurs.

Les éléments préfabriqués plus épais comportent un chanfrein sur leur face supérieure ou une encoche afin de permettre une épaisseur de dalle de compression supérieure afin d'enrober complètement les connecteurs. Des cannelures étroites sont formées dans les éléments pendant leur fabrication pour permettre de positionner une armature transversale sur les poutres et de la sceller dans les éléments préfabriqués. Pour cette raison, la largeur minimale de la semelle supérieure est de 180 à 210 mm.

Les logiciels de pré dimensionnement sont librement disponibles à l'adresse : [www.arcelormittal.com/sections](http://www.arcelormittal.com/sections).

### Gamme de portées habituelles de poutres

Poutres d'une portée de 10 à 18 m et éléments en béton préfabriqués d'une portée de 3 à 9 m, en fonction de leur épaisseur et de leur forme. Les portées des éléments alvéolaires préfabriqués sont supérieures à celles des dalles pleines en béton.

### Aspects importants concernant la conception du plancher

Les éléments alvéolaires préfabriqués ont habituellement des portées de 6 à 9 m. On peut également utiliser des pré-dalles préfabriqués d'une portée de 3 à 4 m. La largeur minimale des poutres doit être suffisante pour supporter les éléments en béton préfabriqués (200 mm est une largeur de poutre minimale raisonnable - voir ci-dessous).

Les poutres de rive sont normalement conçues comme non mixtes, mais sont liaisonnées au plancher afin de satisfaire les exigences de résistance. Pour une conception mixte, il faut prévoir des retours d'armature autour des goujons connecteurs.

<b>Aspects importants concernant la conception du plancher (suite)</b>	<p>Les poutres sont calculées pour les charges de torsion exercées pendant la construction, lorsqu'on suppose que les éléments en béton présents sont positionnés sur un seul côté de la poutre. Ceci peut imposer une dimension minimale de poutre.</p> <p>Un contreventement provisoire assurant un maintien latéral est souvent nécessaire pour réduire la longueur de déversement de la poutre en phase de construction, en particulier quand celle-ci est chargée sur un seul côté.</p>												
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins de poutres secondaires, si l'on utilise des éléments préfabriqués à grande portée.</li> <li>• Les connecteurs peuvent être soudés hors chantier, ce qui permet l'utilisation de goujons de plus fort diamètre et réduit le nombre d'opérations à réaliser sur chantier.</li> </ul>												
<b>Intégration des équipements techniques</b>	<p>Les gaines techniques principales sont positionnées sous la poutre lorsqu'on utilise des équipements de grandes dimensions, comme des ventilo-convecteurs, qui sont alors situés entre les poutres.</p>												
<b>Avant-projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliser pour ce système une trame de 6, de 7,5 ou 9 m, avec des poutres d'une portée maximum de 18 m.</li> <li>2. Choisir les éléments en béton préfabriqués d'après les données du fabricant en fonction de la résistance incendie exigée.</li> <li>3. Choisir la dimension de poutre en fonction des exigences concernant les appuis d'extrémité en construction mixte.                     <table border="1" data-bbox="635 1144 1434 1406"> <thead> <tr> <th data-bbox="635 1144 1023 1211">Largeur minimum de semelle pour l'appui</th> <th data-bbox="1027 1144 1434 1211">Largeurs de poutre minimum</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="635 1218 1023 1285">Dalle pleine de 40 à 100 mm d'épaisseur</td> <td data-bbox="1027 1218 1434 1285">Poutre intermédiaire - 180 mm Poutre de rive - 210 mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="635 1292 1023 1359">Élément alvéolaire en épaisseur de 150 à 250 mm</td> <td data-bbox="1027 1292 1434 1359">Poutre intermédiaire - 180 mm Poutre de rive - 210 mm</td> </tr> <tr> <td data-bbox="635 1366 1023 1406">Poutre non mixte</td> <td data-bbox="1027 1366 1434 1406">Poutre de rive - 120 mm (minimum)</td> </tr> </tbody> </table> </li> <li>4. Dimensionner les poutres mixtes en tenant compte du degré de connexion assuré. La Figure 3.14 montre des détails typiques d'armature.</li> <li>5. Dimensionner les poutres de rive comme étant non mixtes.</li> </ol>	Largeur minimum de semelle pour l'appui	Largeurs de poutre minimum	Dalle pleine de 40 à 100 mm d'épaisseur	Poutre intermédiaire - 180 mm Poutre de rive - 210 mm	Élément alvéolaire en épaisseur de 150 à 250 mm	Poutre intermédiaire - 180 mm Poutre de rive - 210 mm	Poutre non mixte	Poutre de rive - 120 mm (minimum)				
Largeur minimum de semelle pour l'appui	Largeurs de poutre minimum												
Dalle pleine de 40 à 100 mm d'épaisseur	Poutre intermédiaire - 180 mm Poutre de rive - 210 mm												
Élément alvéolaire en épaisseur de 150 à 250 mm	Poutre intermédiaire - 180 mm Poutre de rive - 210 mm												
Poutre non mixte	Poutre de rive - 120 mm (minimum)												
<b>Dimensions habituelles de profilés</b>	<p>Poutres : La dimension habituelle de profilés varie des IPE 450 aux IPE 800 pour une utilisation avec des éléments préfabriqués livrés avec des extrémités chanfreinées et des connecteurs soudés. On peut également utiliser des profilés HE.</p> <table border="1" data-bbox="596 1675 1434 1827"> <thead> <tr> <th data-bbox="596 1675 1023 1709">Épaisseur d'élément alvéolaire (mm)</th> <th data-bbox="1027 1675 1166 1709">Portée (m)</th> <th data-bbox="1171 1675 1434 1709">Surcharges (kN/m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="596 1715 1023 1749">150 mm</td> <td data-bbox="1027 1715 1166 1749">6</td> <td data-bbox="1171 1715 1434 1749">3,5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="596 1756 1023 1789">200 mm</td> <td data-bbox="1027 1756 1166 1789">7,5</td> <td data-bbox="1171 1756 1434 1789">3,5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="596 1796 1023 1830">250 mm</td> <td data-bbox="1027 1796 1166 1830">9</td> <td data-bbox="1171 1796 1434 1830">5,0</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Table 3.3 Portées habituelles d'éléments alvéolaires en béton</i></p>	Épaisseur d'élément alvéolaire (mm)	Portée (m)	Surcharges (kN/m <sup>2</sup> )	150 mm	6	3,5	200 mm	7,5	3,5	250 mm	9	5,0
Épaisseur d'élément alvéolaire (mm)	Portée (m)	Surcharges (kN/m <sup>2</sup> )											
150 mm	6	3,5											
200 mm	7,5	3,5											
250 mm	9	5,0											
<b>Nuance d'acier</b>	<p>S235 à S460, en fonction du traitement des flèches.</p>												
<b>Épaisseur totale de plancher</b>	<p>900 mm, comprenant la poutre de plafond et la dalle pour une portée de 9 m, plus la hauteur nécessaire pour le passage des équipements techniques à travers la poutre ou en dessous.</p>												

**Protection incendie**

Revêtement projeté sur les poutres, protection par plaques de plâtre ou par peinture intumescente, ou poutres partiellement enrobées de béton.

Pour assurer l'intégrité en situation d'incendie, des armatures transversales doivent être prévues et scellées dans les éléments alvéolaires préfabriqués, avec une longueur d'au moins 600 mm dans chaque élément (voir Figure 3.14). Pour une résistance incendie de 90 ou 120 minutes, une dalle de compression en béton de 50 mm (minimum) est également exigée.

**Assemblages**

Des assemblages à platines d'about pleine hauteur (soudées sur les semelles des poutres) sont nécessaires, étant donné que les poutres supportent des charges de torsion pendant la phase de construction.

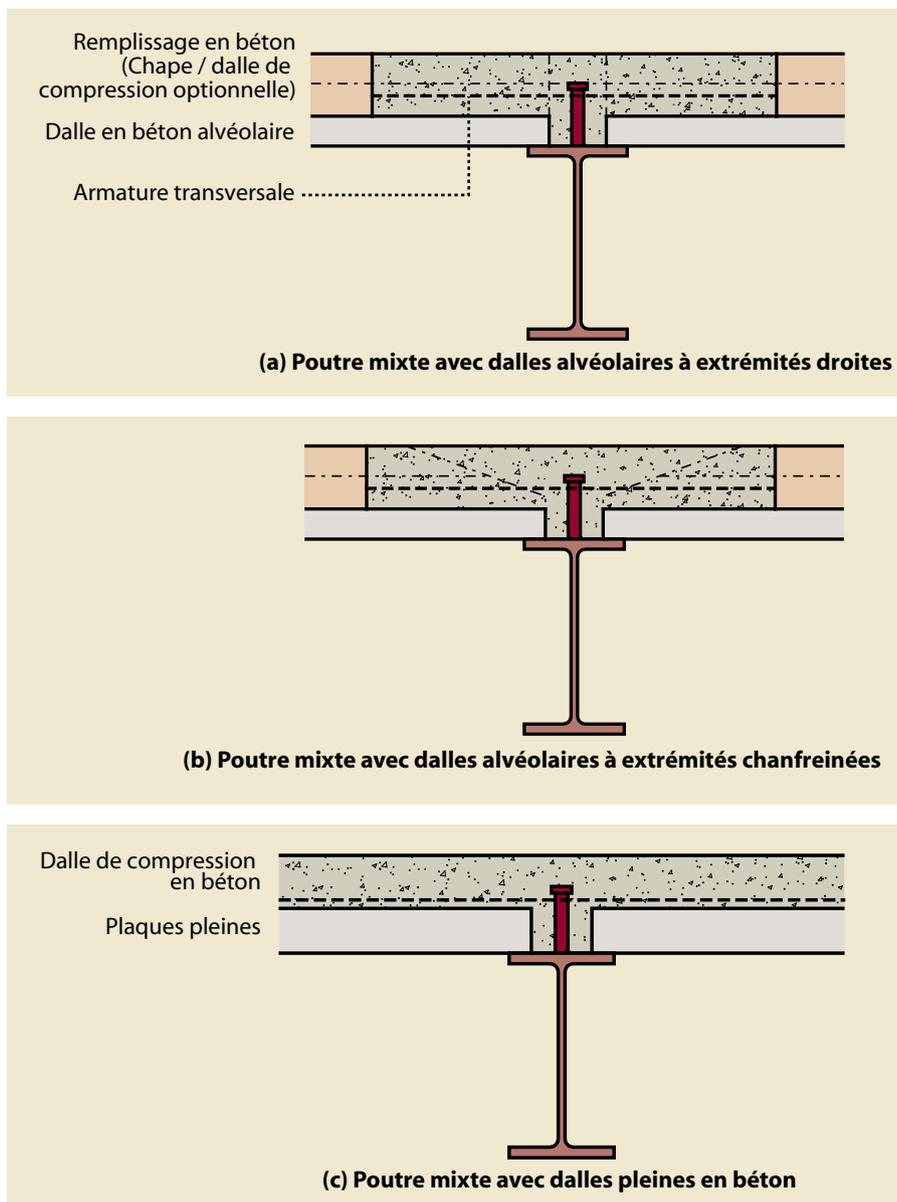


Figure 3.14 Formes de poutres mixtes utilisées avec des éléments préfabriqués

## Poutres non mixtes avec éléments préfabriqués



Figure 3.15 *Éléments préfabriqués en béton placés sur des poutres non mixtes*

<p><b>Description</b></p>	<p>Les éléments préfabriqués peuvent être supportés par la semelle supérieure des poutres en acier ou par des cornières. Ces cornières sont soudées ou boulonnées sur l'âme de la poutre, avec une aile saillante de largeur suffisante pour assurer un appui correct de l'élément préfabriqué et pour faciliter la mise en place des éléments. Les éléments peuvent comporter une chape (qui peut être porteuse), ou un plancher surélevé. Les éléments préfabriqués peuvent être des dalles alvéolaires ou des dalles pleines d'une épaisseur de 75 mm à 100 mm.</p> <p>Le logiciel de pré dimensionnement est librement disponible à l'adresse : <a href="http://www.arcelormittal.com/sections">www.arcelormittal.com/sections</a>.</p>
<p><b>Gamme de portées de poutres habituelles</b></p>	<p>Des portées de 6 m à 7,5 m sont courantes à la fois pour les poutres et pour les éléments préfabriqués. Toutefois, la portée de la dalle est plus courte lorsqu'on utilise des dalles préfabriqués.</p>
<p><b>Aspects importants concernant la conception du plancher</b></p>	<p>Les charges exercées pendant la phase de construction (pour les dalles préfabriqués posées sur un seul côté) doivent être prises en compte.</p> <p>Un contreventement latéral provisoire est souvent nécessaire afin de réduire la longueur de déversement de la poutre pendant la phase de construction, quand celle-ci est chargée sur un seul côté.</p> <p>Il est préférable d'éviter d'utiliser des poutres chargées d'un seul côté de façon permanente, ou alors de les dimensionner en fonction du moment de torsion appliqué.</p>
<p><b>Avantages</b></p>	<p>Essentiellement un système de construction "sèche", dans lequel la hauteur de poutre n'est pas critique.</p>
<p><b>Intégration des équipements techniques</b></p>	<p>Les gaines techniques principales sont situées sous les poutres, avec les équipements techniques de plus grandes dimensions situés entre les poutres.</p>

<b>Avant-projet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliser une trame de 6 m ou 7,5 m avec des éléments préfabriqués de 150 mm d'épaisseur pour une portée de 6 m et de 200 mm d'épaisseur pour une portée de 7,5 m.</li> <li>2. Choisir les éléments en béton préfabriqués d'après les données du fabricant de sorte à satisfaire les exigences de résistance incendie.</li> <li>3. Dimensionner les poutres en acier au moyen d'un logiciel, ou par simple calcul manuel. Prendre en compte les effets de torsion exercés pendant l'installation.</li> <li>4. Justifier en phase de construction, et étudier le contreventement provisoire.</li> </ol>
<b>Dimensions habituelles des profilés</b>	<p>Hauteur de poutre <math>\approx</math> portée/15.</p> <p>Lorsque la semelle supérieure d'une poutre supporte des dalles préfabriquées, la largeur minimum de semelle est de 180 mm pour permettre un appui minimum et un jeu de 30 mm entre les éléments en béton préfabriqués.</p> <p>La dimension minimum de la poutre est IPE 400 lorsque sa semelle supérieure supporte des dalles préfabriquées.</p> <p>Lorsqu'on utilise des cornières supports, un jeu de 25 mm est nécessaire entre l'extrémité de l'élément en béton et la semelle de la poutre, comme indiqué dans la Figure 3.19. Il convient que les cornières débordent d'au moins 50 mm par rapport à la semelle de la poutre.</p>
<b>Nuance d'acier</b>	S235 à S460, en fonction du traitement des flèches.
<b>Épaisseur totale de plancher</b>	Pour une trame de 7,5 m, l'épaisseur de plancher totale est d'environ 800 mm, plafond suspendu compris.

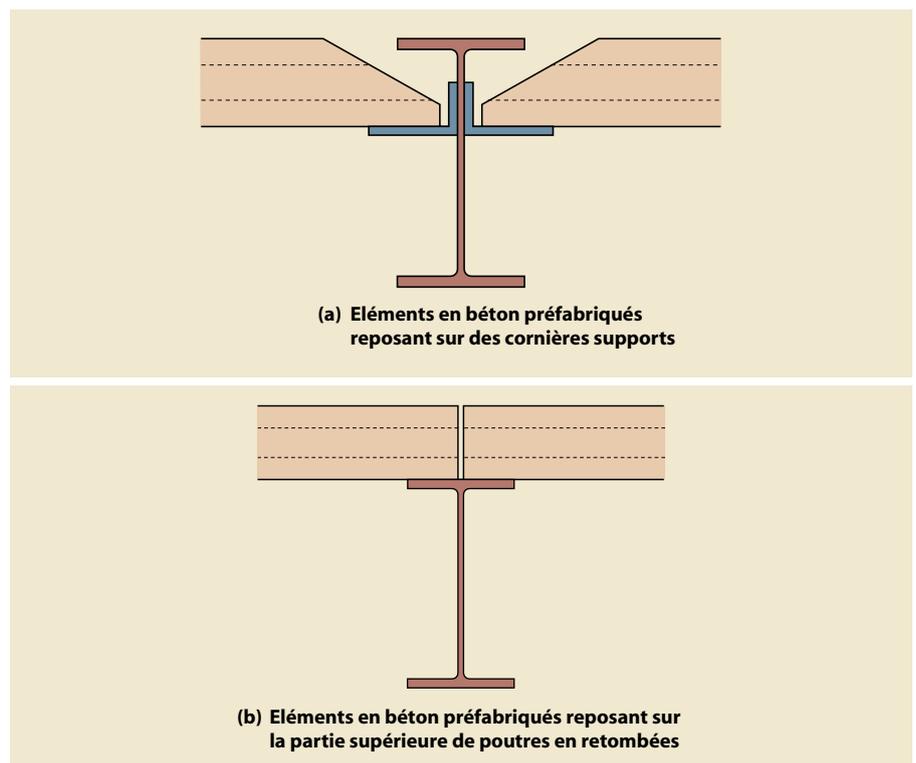


Figure 3.16 Plancher non mixte réalisé au moyen d'éléments préfabriqués en béton

**Protection incendie**

La protection incendie peut être assurée par un revêtement projeté, par des plaques de plâtre ou par peinture intumescente appliquée sur les poutres. Les poutres munies de cornières supports peuvent avoir une résistance incendie de 30 minutes si l'on oriente les cornières vers le haut de sorte que la température de l'aile supérieure de la cornière reste relativement moins élevée dans des conditions d'incendie.

**Assemblages**

Des assemblages à platines d'about pleine hauteur (soudées sur les semelles des poutres) sont nécessaires, étant donné que les poutres supportent des charges de torsion pendant la phase de construction.

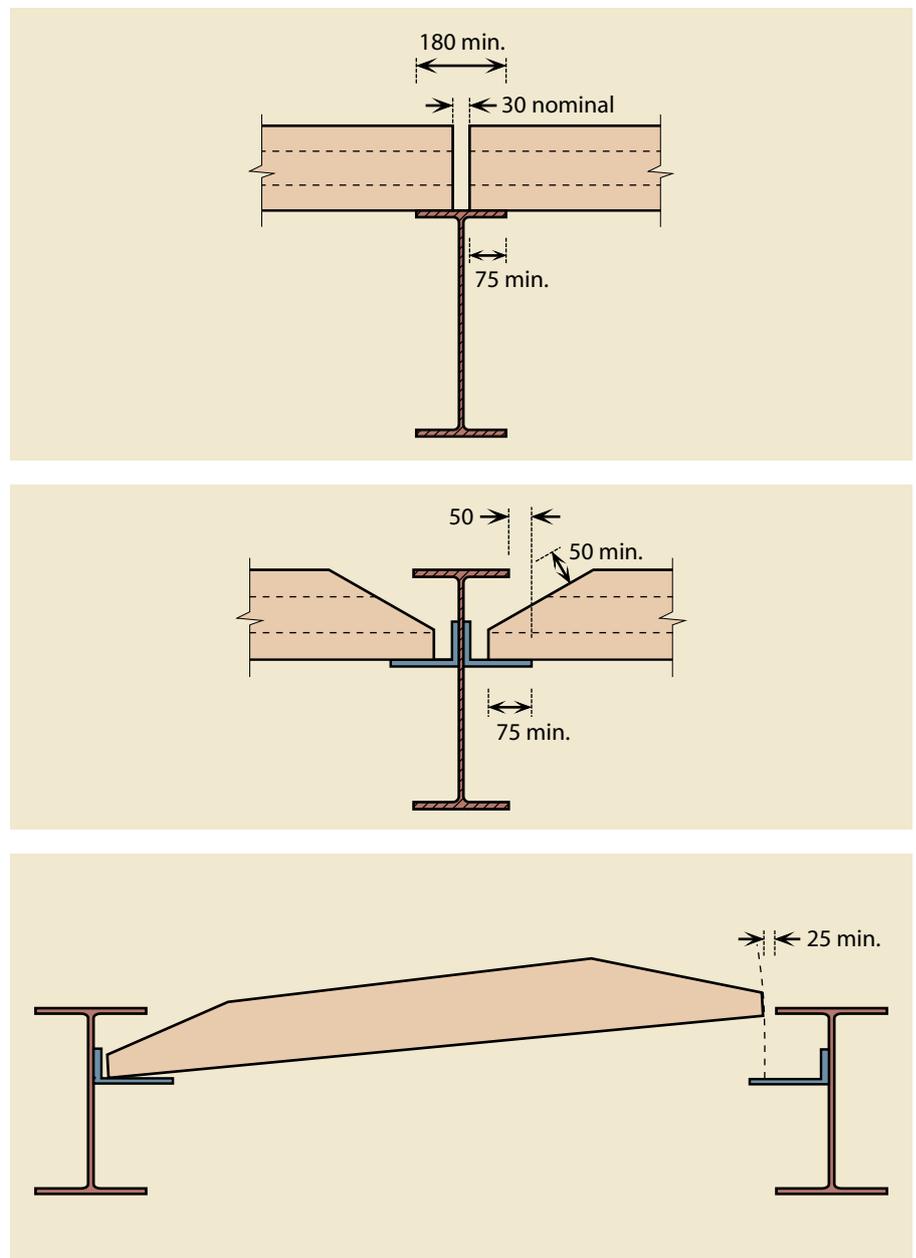


Figure 3.17 Exigences concernant les appuis et les jeux pour les éléments préfabriqués



# 04 Systèmes de Planchers Spéciaux

**Cette section est consacrée à l'étude de systèmes de planchers spéciaux spécifiques à un fabricant, mais dont l'utilisation est bien démontrée dans plusieurs pays européens.**

Ces systèmes de planchers sont les suivants :

- *Cofradal 200* (ArcelorMittal) ;
- *Hoesch Additive Floor*<sup>®</sup> (ThyssenKrupp) ;
- *Slimline* (Slimline Buildings) ;
- *Slimdek* (Corus).

Une gamme de profilés en acier reconstitués a été développée pour une utilisation en construction mixte et pour

les poutres intégrées (planchers de faible épaisseur), traitées ci-dessus dans le chapitre 3. Il s'agit essentiellement de produits génériques disponibles chez certains fabricants.

Les fabricants de ces systèmes de planchers spéciaux peuvent fournir des données de calcul détaillées ainsi que des logiciels pour leurs produits.

*Cofradal 200*

*Hoesch Additive Floor*<sup>®</sup>

*Système Slimline*

*Slimdek*

## Cofradal 200

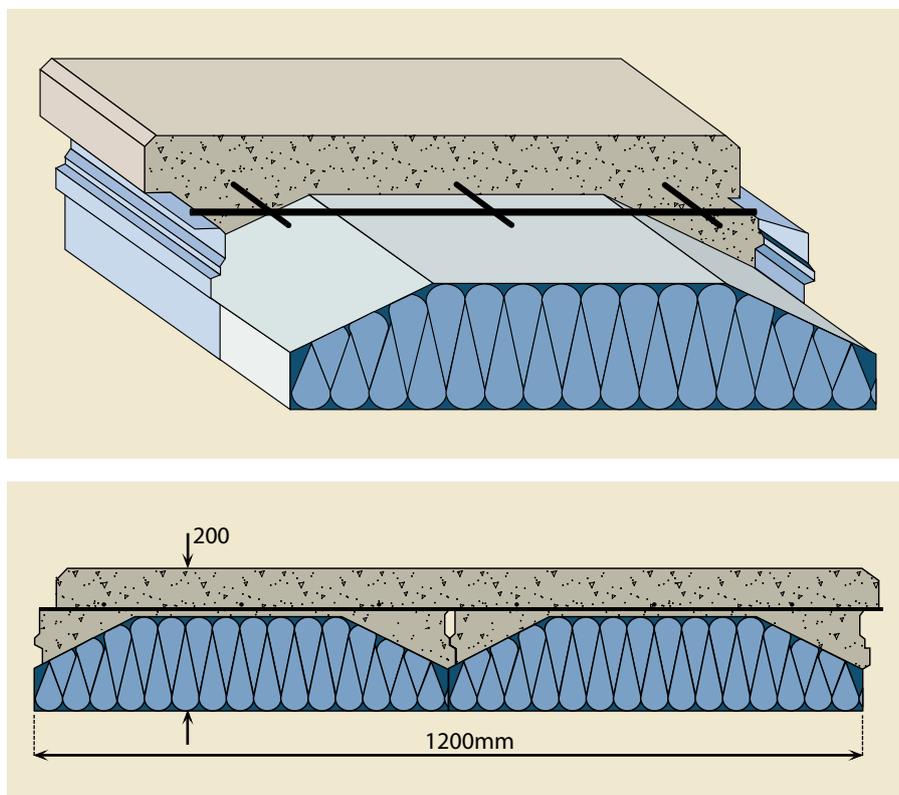


Figure 4.1 Vue et section transversale d'un élément de dalle Cofradal 200

### Description

Cofradal 200 est un système innovant de dalles préfabriqués pour plancher convenant aux immeubles de bureaux et à usage industriel léger, ainsi que pour les bâtiments à usage d'habitation. Les éléments de dalle ont une largeur de 600 mm et l'épaisseur du plancher est habituellement de 200 mm.

Ce système est composé d'éléments de dalle mixtes acier/béton préfabriqués en usine. Les éléments comportent une sous-face en acier et une dalle de compression en béton. Une petite quantité de béton suffit pour le rejointoiement entre les éléments et en périphérie, ainsi que pour la table de compression. Du béton léger peut être utilisé sur le plancher. La construction n'exige aucun étayage provisoire sur chantier.

Le système Cofradal 200 est basé sur l'utilisation de tôles profilées en acier galvanisé comportant un remplissage de laine minérale. La laine minérale assure l'isolation thermique entre les niveaux, si nécessaire, l'isolation acoustique, et une résistance incendie atteignant 120 minutes.

Les tôles profilées en acier fonctionnent en traction en tant que partie d'un système de plancher mixte. Les deux bords longitudinaux possèdent une forme de profil spéciale permettant l'emboîtement et la transmission du cisaillement entre deux éléments de plancher adjacents. La laine minérale de haute densité assure un coffrage efficace du béton placé dessus. Un treillis d'armature est positionné dans la table de compression en béton, (Figure 4.1).



Figure 4.2 Livraison de Cofradal 200 sur chantier

#### Aspects importants concernant la conception

Une dalle de compression en béton normal C25/30 est renforcée au moyen de barres d'armature soudées sur les tôles profilées en acier. Ces barres assurent la connexion entre l'acier et le béton, permettant ainsi un bon comportement mixte. L'épaisseur de la dalle est de 200 mm et le poids est de 2 kN/m<sup>2</sup>. Le panneau a une largeur courante de 600 mm, mais une largeur de 1200 mm est également possible. Le poids de la dalle est ainsi compris entre la moitié et le tiers du poids d'une dalle en béton plane équivalente.

Ce système peut également être utilisé comme dalle de rez-de-chaussée sous réserve d'assurer une circulation d'air efficace en sous-face et de prévenir le développement de moisissures sous la dalle.

La performance de la dalle convient pour une surcharge de 3 kN/m<sup>2</sup> avec une portée de 7,5 m ou pour une surcharge de 8 kN/m<sup>2</sup> avec une portée de 2,5 m. Le facteur décisif est la résistance incendie des dalles.

L'isolation acoustique du plancher est la suivante :

$R_w (C, Ctr) = 58 \text{ dB}$ ,  $L_{n,w} = 78 \text{ dB}$  pour la dalle Cofradal 200 seule, et

$R_w (C, Ctr) = 64 \text{ dB}$ ,  $L_{n,w} = 66 \text{ dB}$  pour la dalle avec un plafond suspendu.

#### Avantages

- Essentiellement une technologie de construction préfabriqué "sèche".
- Système à grande portée, compétitif par rapport aux systèmes de dalles alvéolaires.
- Excellente isolation acoustique.
- Système de construction léger par rapport au béton armé.



Figure 4.3 *Vue de la dalle Cofradal 200 avant coulage du béton*



Figure 4.4 *Vue de la sous-face de la dalle Cofradal 200 achevée. Un plafond suspendu est installé pour les équipements techniques*

## Système Hoesch Additive Floor®

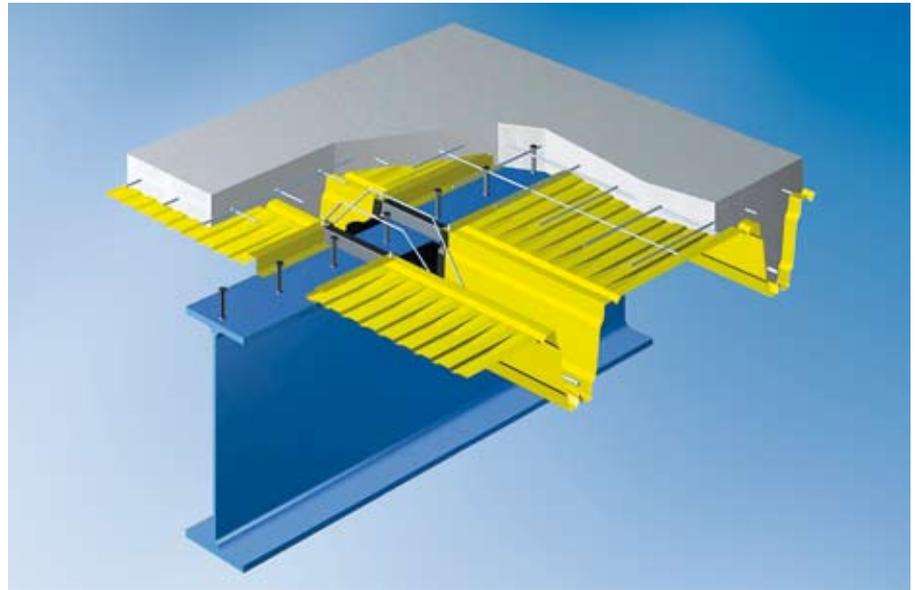


Figure 4.5 Présentation d'ensemble du système de plancher Hoesch Additive Floor®

### Description

Le système *Hoesch Additive Floor*® est un système de plancher couramment utilisé dans les parkings, et il a aussi été récemment utilisé dans des bâtiments à usage commercial à plusieurs étages. Ce plancher est composé de tôles profilées en acier de 200 mm de profondeur avec des barres d'armature et une dalle de compression en béton.

Les tôles en acier sont positionnées entre les semelles supérieures des poutres, de sorte que l'épaisseur du plancher s'en trouve considérablement réduite. Les panneaux de tôle sont supportés par des cales spéciales en acier soudées sur la semelle des poutres, et les tôles sont fixées sur les cales au moyen de fixations posées au pistolet.

Tout type de poutres mixtes peut être choisi, par ex. profilés en I laminés à chaud, poutres alvéolaires, etc, utilisant des poutres principales et secondaires ou uniquement des poutres principales. La dalle de compression en béton est dimensionnée selon l'épaisseur nécessaire pour l'action mixte des poutres.

Les tôles en acier et le béton ne sont pas conçus pour agir comme une dalle mixte. La poutre elle-même peut être calculée comme une structure mixte, auquel cas la semelle du profilé en I est munie de connecteurs, comme indiqué dans la Figure 4.5. La dalle s'étend entre les poutres, ce qui permet une certaine flexibilité dans la disposition des goujons sur la semelle de poutre.

### Aspects importants concernant la conception du plancher

Les tôles en acier doivent être étayées pour des portées supérieures à 5,5 m, ce qui conduit à suivre des trames de poutres de 5,8 m maximum. L'épaisseur de la dalle dépend de l'épaisseur du béton coulé sur les tôles en acier (minimum 80 mm, en fonction de l'épaisseur exigée pour une action mixte avec les poutres). La trame est en général basée sur un multiple de 750 mm, représentant l'espacement des nervures des tôles. Pour des portées supérieures, il est normalement préférable de couler la dalle en deux phases plutôt que d'utiliser un étayage provisoire, ce qui permet d'augmenter le domaine de portées jusqu'à 7 m.

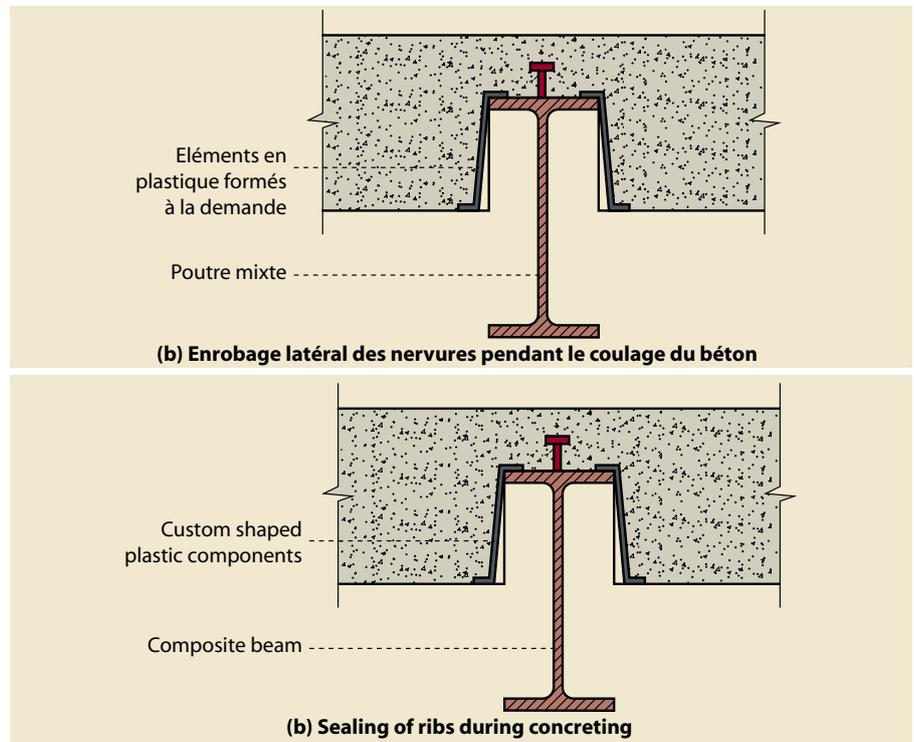


Figure 4.6 Détails du système Hoesch Additive Floor®

#### Avantages

- Portées de dalles atteignant 5,5 m sans étayage pendant la phase de construction.
- Poids propre de la dalle comparativement faible.
- La dalle n'affecte pas l'action mixte des poutres (les goujons peuvent être disposés selon les besoins).
- Epaisseur de plancher réduite grâce au positionnement des tôles en acier entre les poutres.
- Les tôles en acier assurent un appui partiel empêchant le déversement des poutres pendant la construction.

#### Intégration des équipements techniques

Positionnement illimité des équipements techniques sous le plancher. Les petites gaines peuvent être passées dans les nervures des tôles en acier puis au travers d'ouvertures pratiquées dans les poutres.

#### Dimensions habituelles de profilés

Dimensionner comme une poutre mixte, selon les informations données dans le chapitre 3.

#### Nuance d'acier

La nuance d'acier S235 ou S275 est préférée pour les poutres.  
Tôles profilées en acier : S350 GD.

#### Epaisseur totale de plancher

Epaisseur de dalle de 205 mm plus épaisseur de béton sur la poutre (minimum 80 mm, selon l'épaisseur exigée pour l'action mixte des poutres). L'épaisseur totale de plancher dépend des profilés utilisés pour les poutres et de l'intégration des équipements techniques (voir chapitre précédentes).

#### Protection incendie

Pour la dalle, on peut obtenir une résistance incendie de 90 minutes en ajoutant une armature. Une protection supplémentaire des poutres en acier est nécessaire.

## Système Slimline

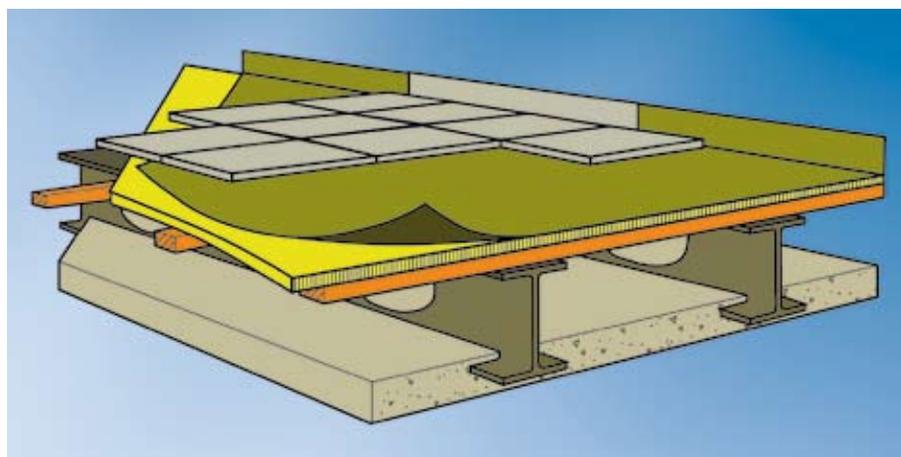


Figure 4.7 Détails du système Slimline

### Description

La société néerlandaise Slimline Buildings a développé un système de plancher à dalles préfabriquées en béton appelé *Slimline*, constitué de poutres parallèles en acier noyées dans une dalle en sous-face et d'un plancher supérieur (amovible). La sous-face de la dalle est apparente. L'objectif est de séparer les éléments structuraux des équipements techniques, et d'offrir une plus grande flexibilité dans le dimensionnement et la fonctionnalité des bâtiments, tout en réduisant les coûts de construction. Cette société collabore avec les fabricants des éléments préfabriqués en béton et propose des entreprises/poseurs agréés pour la réalisation de projets "clefs en main".

Ce système facilite l'installation des équipements techniques et s'est avéré économique par rapport aux méthodes de construction traditionnelles (selon une étude effectuée par la Dutch Association of Cost Engineers - Association Néerlandaise des Ingénieurs-Métreurs).

Le logiciel de pré dimensionnement est disponible librement d'ici la fin de 2008 à l'adresse : [www.slimlinebuildings.com](http://www.slimlinebuildings.com)

### Gamme de portées habituelles de poutres

- Système préfabriqué *Slimline* (jouant le rôle de poutres secondaires) : 4,5 à 9,6 m.
- Portée de poutre principale : 6 à 12 m, supportant les poutres *Slimline*.
- Epaisseur standard selon la portée maximale : 275 mm pour 4,50 m, 295 mm pour 5,40 m, 355 mm pour 7,20 m et 445 mm pour 9,60 m de portée, respectivement.
- Longueur standard des éléments préfabriqués de 2400 mm (pour le transport).

<b>Aspects importants concernant la conception du plancher</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poutre en acier connectée à la face inférieure d'une dalle en béton.</li> <li>• Poids propre : Habituellement 1,60 kN/m<sup>2</sup> (sans la dalle supérieure).</li> <li>• Vibrations : Les mesures effectuées sur des bâtiments existants ont montré que la fréquence naturelle minimum est supérieure à 7 Hz.</li> <li>• Propriétés acoustiques : Le plancher <i>Slimline</i> et les matériaux du plancher forment une construction en deux parties qui satisfait les exigences fonctionnelles fixées pour les immeubles de bureaux et les bâtiments à usage résidentiels.</li> <li>• Inertie thermique : En l'absence de plafond, le béton assure une inertie thermique pour la régulation de la température intérieure.</li> <li>• Peut être utilisé comme dalles de rez-de-chaussée avec une isolation placée dessous, par ex. une épaisseur de 80 mm de polystyrène expansé (EPS), <math>R_c = 2,52 \text{ m}^2\text{K/W}</math>. Ceci inclut la résistance thermique résultant de la construction en deux parties.</li> </ul>
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de construction sèche sur chantier.</li> <li>• Réduction de la hauteur d'étage, car un plafond suspendu n'est pas nécessaire.</li> <li>• Facilité d'installation et de maintenance des équipements techniques.</li> <li>• Réalisation de portées plus longues qu'avec une construction en béton.</li> <li>• La performance thermique contribue à la régulation des températures intérieures.</li> </ul>
<b>Intégration des équipements techniques</b>	Le principal avantage de ce type de plancher est sa flexibilité, en raison de la facilité d'accès aux équipements techniques situés sous le plancher.
<b>Dimensions habituelles de profilés</b>	Habituellement des profilés IPE 240 à 360 pour des portées de 5 à 8 m.
<b>Nuance d'acier</b>	Habituellement S235, étant donné que le dimensionnement est gouverné par les flèches.
<b>Type de béton</b>	Béton habituel : Béton normal C25/30.
<b>Epaisseur totale de plancher</b>	Habituellement, de 300 à 500 mm, sans les poutres principales supportant le système de plancher <i>Slimline</i> .
<b>Protection incendie</b>	Plancher en béton : Le plancher <i>Slimline</i> assure une résistance incendie de 90 minutes conformément aux règles Bouwbesluit (Réglementation néerlandaise de la construction).
<b>Assemblages</b>	Les éléments <i>Slimline</i> sont placés directement sur les poutres porteuses (principales) ou fixés sur le côté de ces poutres. Dans le premier cas, la dalle est coulée au ras de la poutre porteuse, de sorte que les assemblages peuvent être réalisés sur la semelle de la poutre porteuse.

## Slimdek



Figure 4.8 Installation des équipements techniques sous le plancher Slimdek

### Description

Slimdek est un système de plancher de faible épaisseur composé de poutres asymétriques (ASB “Asymetrical Steel Beam”) supportant des dalles mixtes comportant des tôles en acier à ondes profondes, fabriqué par Corus. Les profilés ASB sont des poutres en acier laminées à chaud avec une semelle inférieure plus large que la semelle supérieure. La semelle supérieure du profilé comporte des reliefs “larmés” obtenus au laminage et collabore avec l’enrobage de béton sans nécessiter l’ajout de connecteurs. Les tôles profilées sont positionnées entre les semelles inférieures des poutres et supportent la dalle ainsi que les autres charges exercées pendant la construction.

Les portées sont normalement disposées selon une trame de 6 à 9 m, avec une épaisseur de dalle de 280-350 mm. Les tôles à ondes profondes nécessitent un étayage pendant la phase de construction pour des portées supérieures à 6 m.

Une gamme de profilés ASB est disponible dans chacune des deux hauteurs standard de 280 et 300 mm. Dans cette gamme, il existe cinq profilés ASB avec des âmes relativement minces et cinq profilés ASB(FE) (Conçus pour la résistance incendie) avec des âmes relativement épaisses (d’épaisseur égale ou supérieure à celle des semelles). Les profilés ASB(FE) assurent une résistance incendie de 60 minutes sans protection supplémentaire dans cette forme de construction, pour des charges de bureaux normales.

Les équipements techniques peuvent être intégrés en pratiquant des ouvertures oblongues dans les âmes des poutres, et en positionnant les gaines entre les nervures des tôles, comme illustré dans la Figure 4.9.

Les poutres de rive peuvent être des poutres constituées d’un profilé creux rectangulaire laminé (RHS - Slimflor) sous lequel est soudé une plaque de semelle, des profilés ASB ou des poutres débordantes en sous face. On utilise des agrafes, normalement en forme de Tés dont le montant est noyé dans la dalle, pour encastrier intérieurement les poteaux à angle droit par rapport aux poutres principales.

### Gamme habituelles de portées de poutres

Trame de 6 à 7,5 m, habituellement, bien qu’une trame de 9 x 9 m soit possible.

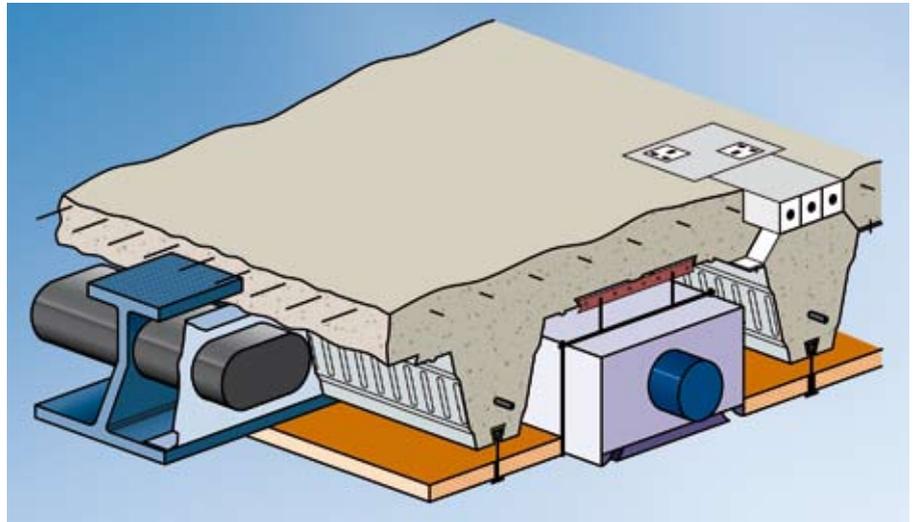


Figure 4.9 Intégration des équipements techniques à l'intérieur de planchers Slimdek

#### Aspects importants concernant la conception du plancher

- L'utilisation d'un support central en profilés asymétriques ASB avec des tôles profilées s'étendant jusqu'aux poutres de rive constitue en général une solution plus économique qu'une série de traverses en profilés asymétriques ASB, pour les bâtiments à trame rectangulaire. La torsion peut gouverner le dimensionnement de la poutre au niveau d'un changement de sens de la travée de plancher et pour les poutres de rive. Les poutres de section rectangulaire creuse RHS Slimflor supportent efficacement les charges de torsion.
- Les tôles en acier nécessitent un étayage pour des portées supérieures à 6 m (deux étayages pour une portée de 9 m).
- L'épaisseur de la dalle dépend de l'épaisseur du béton coulé sur les tôles profilées (principalement pour la résistance incendie), sur les profilés ASB (au moins 30 mm), et sur la poutre de rive. Les profilés asymétriques ASB sont considérés comme non mixtes si la couche de béton est inférieure à 30 mm.
- Il convient d'étudier soigneusement les détails constructifs des assemblages autour des poteaux, étant donné que les semelles des profilés asymétriques ASB sont plus larges que le poteau et peuvent nécessiter un grugeage.
- Les planchers Slimdek peuvent être dimensionnés au moyen d'un ensemble de logiciels.

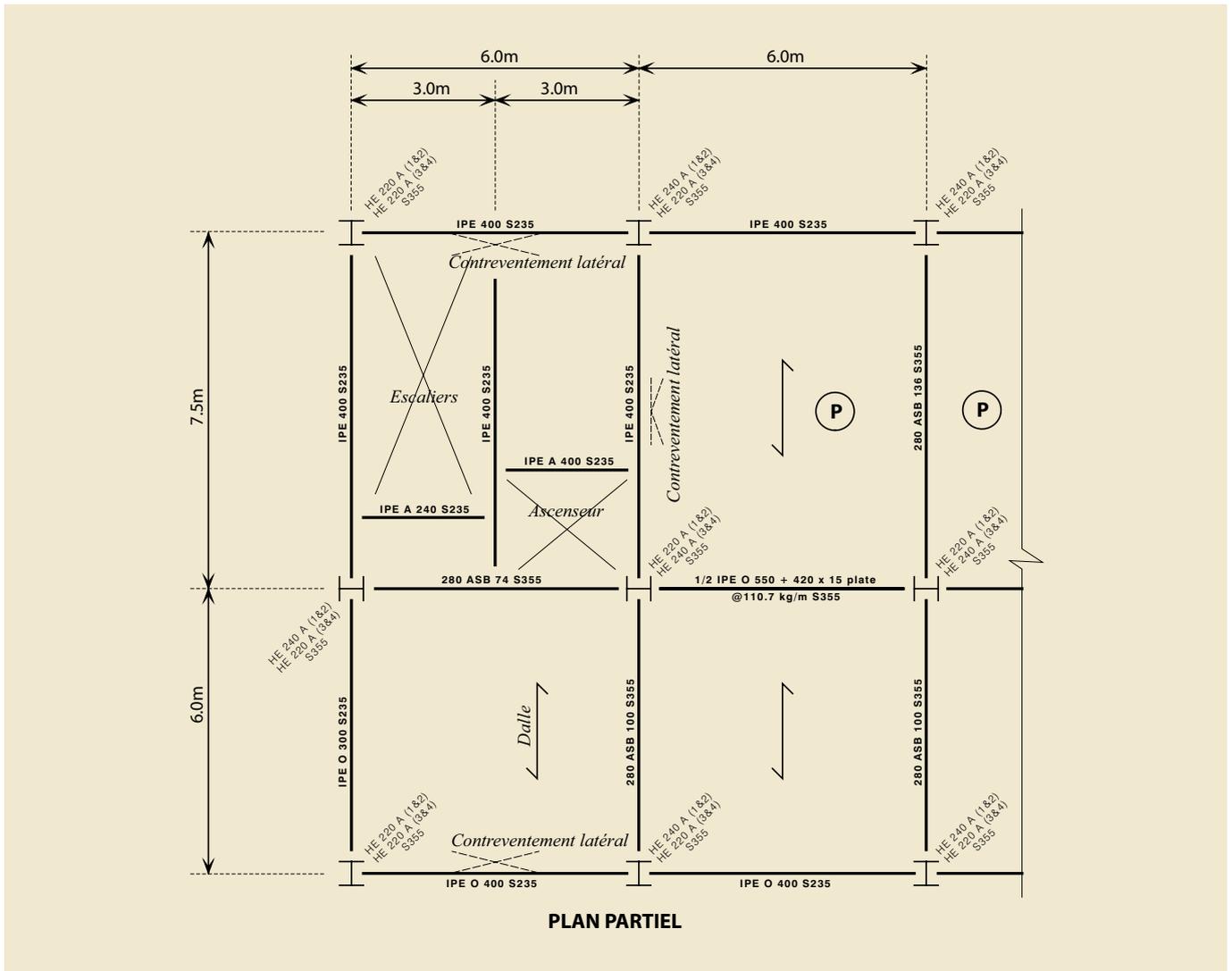
De plus amples informations sont disponibles à l'adresse : [www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org).

#### Avantages

- Faible épaisseur de plancher - permettant une réduction de la hauteur totale du bâtiment et une économie de parements. La sous face virtuellement plane facilite l'installation des équipements techniques et permet une flexibilité dans le positionnement des cloisons intérieures.
- Protection incendie inhérente de 60 minutes sans protection supplémentaire.
- Des ouvertures régulières peuvent être ménagées entre les nervures des tôles pour les équipements techniques.

#### Intégration des équipements techniques

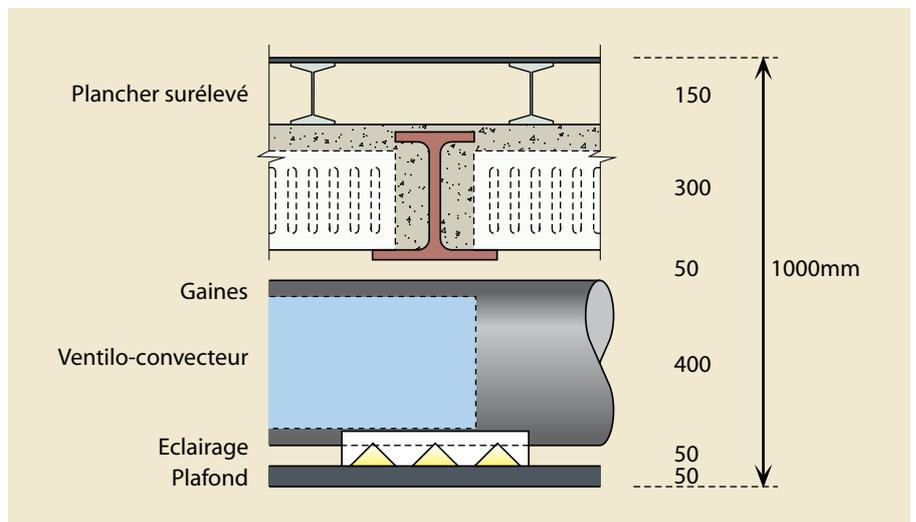
Installation illimitée des équipements techniques sous le plancher. Les équipements et les gaines de faibles dimensions (jusqu'à 160 mm de diamètre) peuvent être passés au travers d'ouvertures ménagées dans l'âme de la poutre et entre les nervures des tôles.



**P** = Portée pour lesquelles un étayage des tôles profilées est nécessaire

Figure 4.10 (Haut) Slimdek - Disposition de l'ossature en acier du plancher pour un bâtiment de 4 étages à trame rectangulaire (poutres principales intermédiaires profilés ASB et poutres de rive débordantes avec retombées)

Figure 4.11 (Droite) Slimdek - section transversale typique avec l'équipement de conditionnement d'air positionné sous la dalle



**Avant-projet**

1. Supposer que les poutres sont positionnées sur une trame de 6 m, 7,5 m ou 9 m. (Noter que les portées de tôles profilées supérieures à 6 m nécessitent un étayage provisoire, ce qui peut avoir des conséquences sur le programme de construction).
2. Choisir les tôles profilées et dimensionner la dalle. S'assurer que l'épaisseur de dalle choisie ainsi que l'armature satisfont les exigences de résistance incendie.
3. Dimensionner les profilés ASB au moyen des logiciels. Choisir les profilés conçus pour l'incendie s'il faut éviter une protection incendie supplémentaire. Vérifier que l'épaisseur de dalle assure un enrobage d'au moins 30 mm sur les profilés ASB, ou choisir une épaisseur de dalle affleurant la partie supérieure des profilés ASB et placer des barres d'armature au travers de l'âme de la poutre.
4. Dimensionner les poutres de rive en utilisant des poutres creuses rectangulaires RHS Slimflor ou des poutres disposées en sous face, si la disposition des façades le permet. S'assurer que la hauteur des poutres de rive est compatible avec l'épaisseur de la dalle.

**Dimensions habituelles de profilés**

Table 4.1 Dimensions habituelles de poutres ASB

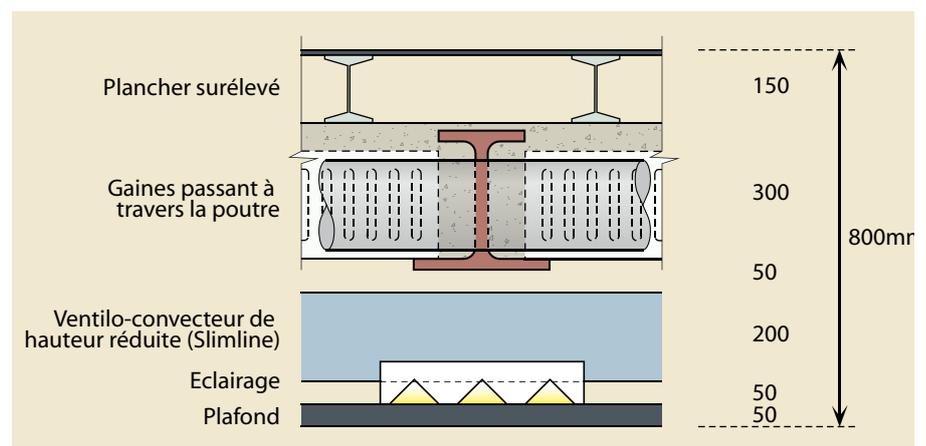
Portée de la poutre	Portée de dalle		
	6	7.5*	9*
6 m	280 ASB100	280 ASB136	300 ASB153
7.5 m	280 ASB136	300 ASB153	300 ASB185
9 m	300 ASB153	300 ASB185	300 ASB249

\*avec étayage des tôles en acier

**Nuances d'acier**

Les profilés asymétriques ASB ne sont disponibles qu'en acier S355. Les poutres creuses rectangulaires RHS Slimflor sont disponibles en acier S275 et S355.

Figure 4.12 Slimdek - section transversale typique montrant les équipements techniques positionnés dans l'épaisseur de plancher



<b>Épaisseur totale de plancher</b>	1000 - 1200 mm avec conditionnement d'air (et plancher surélevé) - voir Figure 4.11. 700 - 900 mm avec équipements techniques légers (et plancher surélevé) - voir Figure 4.12.
<b>Protection incendie</b>	Les profilés asymétriques ASB conçus pour résister à l'incendie avec l'âme et la semelle supérieure enrobées de béton ne nécessitent aucune protection incendie supplémentaire pour une résistance atteignant 60 minutes. Les profilés asymétriques ASB à âme mince exigent une protection incendie pour une résistance supérieure à 30 minutes - réalisée normalement par l'application d'une plaque de plâtre sur la semelle inférieure. Les poutres de rive en sections creuses rectangulaires RHS Slimflor nécessitent normalement une protection incendie pour une résistance supérieure à 60 minutes, habituellement réalisée par l'application de plaques de plâtre sur les faces exposées.
<b>Assemblages</b>	Les profilés asymétriques ASB exigent des assemblages avec platines d'about (habituellement à 6 ou 8 boulons) pour résister aux charges de torsion. Pour les profilés RHS Slimflor, on utilise souvent des assemblages avec platines d'about débordantes permettant une réduction de la largeur de l'assemblage.



# 05 Assemblages des Poutres

Tous les systèmes de planchers étudiés dans les sections précédentes utilisent des assemblages simples, qui ne sont pas supposés développer des moments significatifs. Cependant, certains assemblages sont également conçus pour résister aux effets de torsion.

Des assemblages pleine hauteur sont adéquats pour les éléments de plancher soumis à la torsion, comme les poutres asymétriques destinées aux systèmes de planchers intégrés.

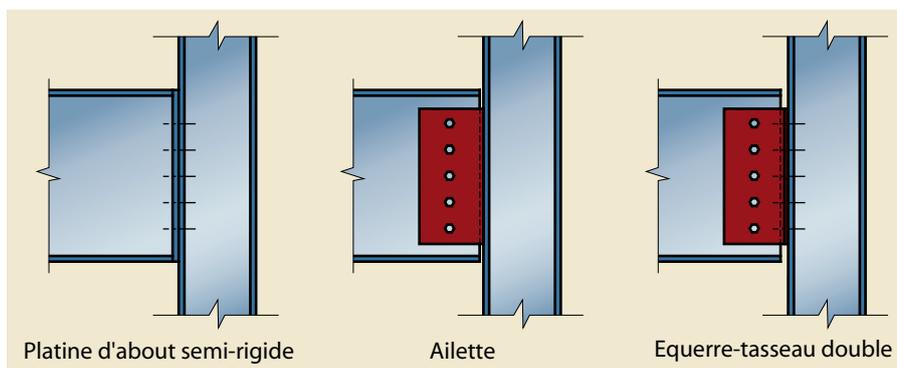


Figure 5.1 Assemblages articulés usuels de poutres

## Assemblages simples

La stabilité globale de la structure est normalement assurée par un contreventement en acier ou par un noyau en béton. Dans ce cas, il n'est pas utile que les assemblages entre les éléments en acier transmettent des moments fléchissants importants.

Sous réserve que les assemblages ne soient pas soumis à la torsion, on réalise habituellement des assemblages simples (résistant à l'effort tranchant uniquement). On utilise des assemblages courants, le choix des détails constructifs est défini par l'entreprise de construction métallique. Les assemblages courants utilisent des platines minces ou des cornières (Figure 5.1).

En général, on utilise des platines d'about pour les assemblages poutre-poteau. Suffisamment minces pour ne pas transmettre de moments importants,

elles sont connues sous le nom de "platines semi-rigides". Les assemblages sur des poteaux à sections creuses carrées sont également standards, réalisés au moyen de platines d'about minces ou de cornières, et avec des boulons "aveugles", ou des fixations vissées dans des trous filetés.

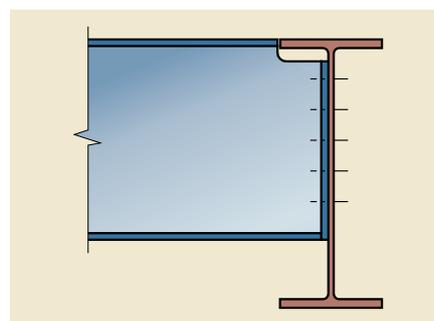


Figure 5.2 Assemblage poutre-poutre, montrant la nécessité du grugeage de la poutre secondaire

## Assemblages simples

## Platines d'about rigides

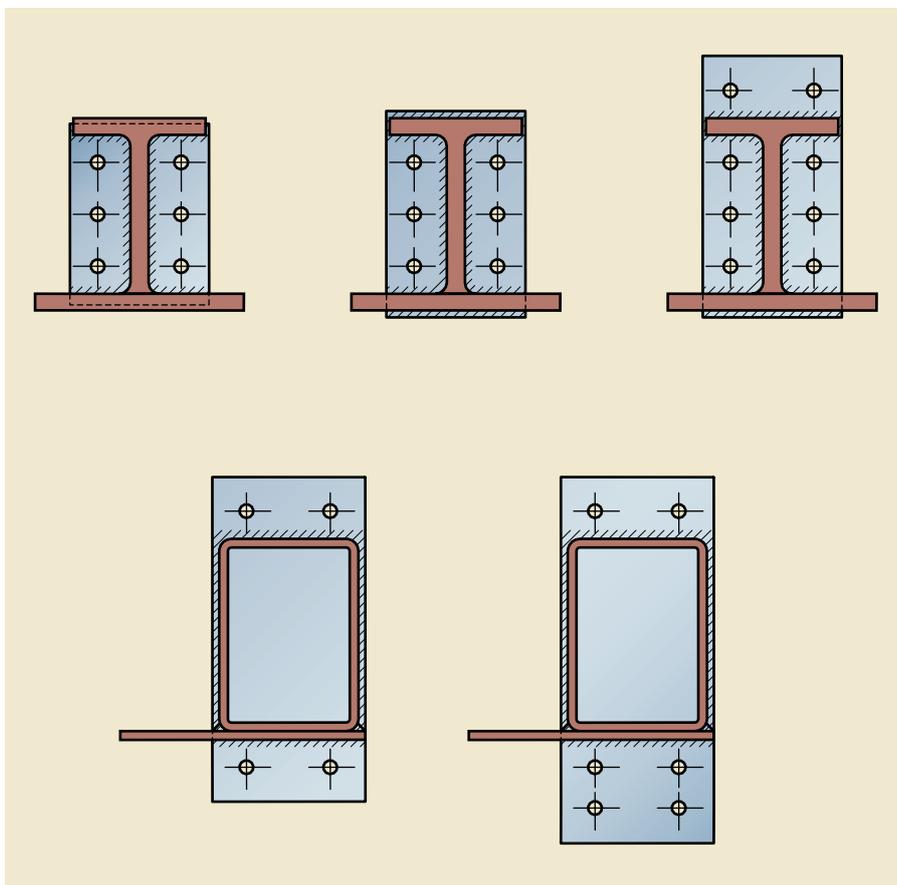


Figure 5.3 *Platines d'about pleine hauteur pour les poutres de plancher intégrées et les poutres de rive*

Les assemblages poutre-poutre utilisent le même genre de dispositions, les poutres secondaires nécessitant un grugeage, comme l'indique l'exemple d'assemblage par platine d'about mince de la Figure 5.2.

### Platines d'about rigides

Lorsque les assemblages sont soumis à la torsion ou doivent résister à la flexion, ils sont habituellement réalisés au moyen d'une platine d'about rigide (Figure 5.3). Dans ces assemblages, la platine d'about est soudée sur toute la périphérie du profil de l'élément.

Pour de nombreux éléments comme les poutres intégrées, une torsion peut se produire pendant la construction lorsque

des charges sont appliquées sur un seul côté de l'élément. D'autres éléments, comme les poutres de rive, sont soumis à torsion pendant toutes les phases. Dans ce cas, les effets combinés de la torsion et de l'effort tranchant sur les soudures ainsi que sur les groupes de boulons doivent être vérifiés.

Outre leur résistance en flexion, ces types d'assemblage réduisent les flèches des poutres. On peut préférer pour les applications de grandes portées.

# 06 Etudes de Cas

**Ce chapitre présente une série d'études de cas qui illustrent les principes de dimensionnement et de construction exposés précédemment. Elles couvrent diverses formes de bâtiments construits à travers l'Europe.**

Les études de cas et les systèmes structuraux présentés sont les suivants :

- *Centre Mjärvedi, Suède*  
Poutres en acier intégrées et poteaux tubulaires remplis de béton ;
- *Siège Social de la Banque ING, Amsterdam*  
Construction Slimdek supportée par des poteaux inclinés ;
- *Chambre de Commerce, Luxembourg*  
Dalle mixte comportant des tôles profilées en acier inoxydable apparentes et supportée par des poutres intégrées de grande portée ;
- *Tours HighLight, Munich*  
Structure mixte supportée par des poteaux tubulaires remplis de béton ;
- *Palestra, Londres*  
Poutres reconstituées de grande portée disposées par paires et supportées par des poteaux tubulaires ;
- *Rénovation de l'Alhóndiga, Bilbao*  
Rénovation d'un bâtiment existant conservant la façade et utilisant des treillis à grande portée pour créer un espace d'exposition.

*Centre Mjärvedi,  
Suède*

*Siège Social de la Banque  
ING, Amsterdam*

*Chambre de Commerce,  
Luxembourg*

*Tours HighLight,  
Munich*

*Palestra,  
Londres*

*Rénovation de  
l'Alhóndiga, Bilbao*

## Centre Mjärvedi, Suède

*Le Centre Mjärvedi illustre la façon dont des techniques de construction traditionnelles faisant appel à une ossature en acier préfabriqué peuvent être utilisées pour inspirer de nouvelles idées à l'industrie du bâtiment.*

### Avantages pratiques :

- Les poteaux remplis de béton résistent au feu et peuvent être laissés visibles
- Le système de plancher en acier de faible épaisseur est apparent au travers d'une façade vitrée incurvée et inclinée
- La façade vitrée est supportée par des profilés en acier légers
- Architecture primée



Le Parc Scientifique Mjärvedi est conçu pour offrir un *“environnement favorable à l'établissement et à la croissance d'entreprises de haute technologie en plein développement.”* Le Centre Mjärvedi constitue le centre et le symbole du parc scientifique, et ce bâtiment devait donc exprimer avec audace la confiance en l'avenir.

Ce bâtiment est composé de deux parties distinctes, une partie de 12 étages et une partie de plus faible hauteur formant une base pour le bâtiment plus élevé. La partie haute du bâtiment s'élargit par des façades inclinées en deux demi-cercles. L'architecte a utilisé des figures géométriques classiques. Une forme élancée et incurvée était souhaitée,

comme un vase ou une sculpture, une forme simple et belle, hors du temps, et en même temps nouvelle car inclinée. Selon les propres paroles de l'architecte : *“On peut dire que ce bâtiment ressemble à un vase d'Alvar Aalto géant.”*

Un des matériaux utilisés pour les parements extérieurs est le zinc, dont la couleur sombre forme un encadrement pour la partie transparente de l'immeuble. La forme donnée au bâtiment est abrupte, en contraste avec le paysage plat environnant. Dans la partie haute, la structure verticale est apparente, comme ses poteaux qui se découpent dans l'espace. En partie basse, la structure en acier est totalement visible et l'extérieur du bâtiment reflète donc l'intérieur.

**Equipe chargée du projet**

Maîtrise d'ouvrage :

**Sankt Kors Fastighets AB**

Architectes :

**Lund & Valentin arkitekter**

Chef de projet :

**Hifab Byggprojektledaren AB**

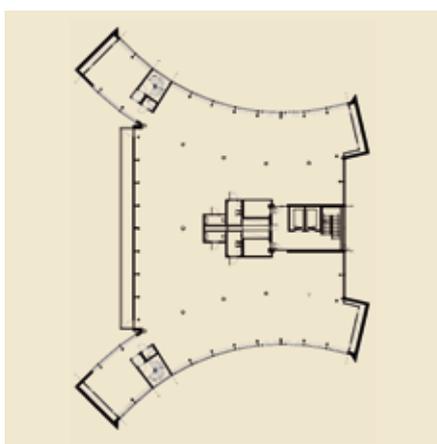
Entreprise en charge du lot Structure :

**Strångbetong**

Entreprise de Construction Métallique :

**PPTH-Norden Oy**

Ingénieur-Structures :

**CSE projekt AB,****PPTH Engineering**

Trame du bâtiment, Niveau 7

**Détails constructifs**

Des poteaux en acier (profils circulaires) sont utilisés en association avec des poutres en acier et des dalles alvéolaires en béton.

Les poteaux en acier (en général de 200 mm de diamètre) sont continus sur trois étages et sont remplis de béton armé pour assurer une action mixte et pour la résistance incendie. Cette solution a été choisie car l'architecte voulait que la surface de l'acier soit visible, à l'exception des poteaux inclinés situés dans les façades des pignons.

Les poutres utilisées sont des profilés HEA pour la façade (en général de 240 mm) et des profilés en oméga à l'intérieur du bâtiment. Les poteaux inclinés sont constitués de profilés VKR, assemblés par soudage et disposés comme une échelle géante. Les poutres horizontales maintiennent ces poteaux en place horizontalement. Le plancher est constitué d'éléments alvéolaires en béton de 270 mm d'épaisseur. Leur portée varie de 4 à 11 m en fonction de la géométrie du bâtiment.

Le bâtiment est stabilisé par trois cages d'escalier préfabriqués en béton munies de tirants sur la moitié de la hauteur du bâtiment. Une des cages d'escalier est au centre du bâtiment et les deux autres dans les pignons. La cage d'escalier centrale est en béton de couleur claire à surfaces apparentes.



Le Centre Mjärdevi en cours de construction. Ossature principale et éléments minces pour les murs extérieurs

Photo avec l'aimable autorisation de PPTH

Les murs extérieurs utilisent des profilés en C en éléments minces combinés à des éléments de façade vitrés. Il a fallu tenir compte des faibles tolérances de la façade préfabriquée et des éléments en verre.

Ce bâtiment constitue un excellent exemple de la façon dont la technologie de construction préfabriquée peut être utilisée pour créer une expression architecturale d'avant-garde. Les faibles épaisseurs qui permettent l'ossature en acier sont exploitées pour réaliser une façade vitrée légère, inclinée et incurvée.

## Siège Social de la Banque ING, Amsterdam

*Le bureau d'études qui a participé à la réalisation du prestigieux siège social de la Banque ING dans le quartier de Zuiderhof à Amsterdam a choisi le système Slimdek. Sa faible épaisseur permet de minimiser l'impact visuel tout en offrant rapidité d'installation et légèreté.*

### Avantages pratiques :

- Rapidité de construction de la superstructure, épaisseur minimale de structure pour l'impact visuel
- Possibilités d'intégration des équipements techniques
- Réduction du poids propre en relation avec les conditions du terrain
- Réduction des exigences d'utilisation de grues
- Allègement et diminution des livraisons sur le chantier par rapport à une construction en béton



Vue de l'extrémité de l'immeuble ING.  
Photo avec l'aimable autorisation de G. Fessy, Paris



Le prestigieux siège social de la Banque ING à Amsterdam constitue l'un des exemples les plus intéressants de construction en acier utilisant le système Slimdek. La structure de 9 étages comporte environ 20.000 m<sup>2</sup> de superficie de plancher et la totalité du bâtiment est supportée par des poteaux mixtes inclinés en acier. Le "nez" du bâtiment est conçu comme un auditorium, en console de 26 m de portée par rapport à la structure Slimdek adjacente.

Les architectes Meyer et van Schooten tenaient à utiliser le système Slimdek en raison de leur expérience sur d'autres projets, et parce qu'il permet de réaliser la hauteur de structure la plus faible, exigence courante pour les constructions réalisées aux Pays-Bas. La façade à double peau vitrée exige également une épaisseur de plancher la plus faible possible pour un impact visuel minimum.

La trame de structure est un carré d'environ 7 m de côté. C'est l'idéal pour le système Slimdek composé de profilés

ASB en acier et de tôles à ondes profondes donnant une dalle mixte d'une épaisseur d'environ 300 mm. Des treillis en acier de grande portée étaient dimensionnés pour supporter la superstructure et pour résister aux forces élevées générées par les poteaux inclinés qui assurent la stabilité globale du bâtiment.

Ce bâtiment est situé à proximité de l'autoroute A10 qui est très fréquentée. Par conséquent, l'isolation acoustique ainsi que la maîtrise des vibrations constituent également des facteurs importants de dimensionnement. L'espace situé sous le bâtiment donne accès au bâtiment et au parking souterrain.

Pour les équipements techniques, l'architecte a adopté une stratégie sophistiquée dans laquelle la façade à double peau a été utilisée pour exploiter "les apports solaires" et gérer l'équilibre de la température intérieure. Les équipements techniques ont été positionnés sous la dalle, les gaines de faible dimension passant entre les nervures des tôles à ondes profondes.

**Equipe chargée du projet**

Maîtrise d'ouvrage :

**ING Bank**

Architectes :

**Meyer & Van Schooten,  
Ellerman,  
Lucas,****Van Vugt Architects**

Ingénieur-Structures :

**Aronsohn**

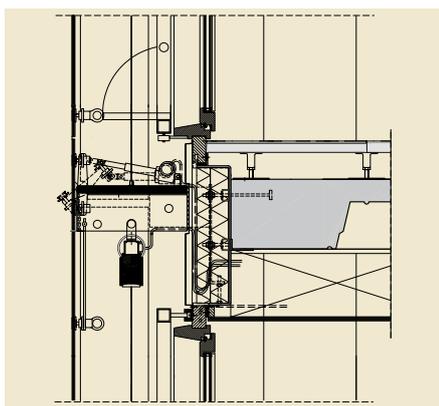
Construction métallique :

**HGO Group**

Entreprise en charge des planchers :

**Dutch Engineering**

Dalle mixte utilisée dans la zone de l'auditorium



Tous les projets situés aux Pays-Bas étant affectés par le niveau élevé des nappes phréatiques, il était donc intéressant de réduire au minimum les travaux de terrassement en concentrant les charges au niveau des emplacements des poteaux.

**Détails constructifs**

Au niveau du sol, la structure est composée de poteaux inclinés de 10 m de haut qui supportent la superstructure dont la hauteur varie de 4 à 9 étages.

280 poutres ASB 136 assurent une portée de 7 m en travées approximativement égales à la largeur du bâtiment. La superstructure s'étend entre les poteaux inclinés. Un treillis de la hauteur de l'étage supporte la superstructure ainsi que les efforts horizontaux transmis par les poteaux. Ces derniers sont constitués de profilés en I disposés en croix, avec un remplissage de béton pour obtenir une action mixte et une résistance à l'impact.

Les planchers supérieurs comportent des tôles en acier à ondes profondes positionnées entre les semelles inférieures des poutres ASB. Des doubles files d'étais provisoires ont permis de contrôler les flèches des tôles de 7,2 m de portée. La dalle a une épaisseur totale de 310 mm, minimum raisonnable satisfaisant les critères de flèche et de vibration. Le plancher du rez-de-chaussée comporte des dalles

préfabriqués en béton au-dessus de la zone d'accès ouverte et du parking.

La façade légère ainsi que les vitrages sont fixés sur la structure périphérique en acier, assurant un environnement intérieur contrôlé et permettant de réduire les installations techniques. Le système Slimdek a également permis de diminuer l'impact visuel de la structure, ce qui était important pour le concept architectural.

L'auditorium a été conçu comme une structure en console d'une portée de 26 m et d'une hauteur de 3 étages, supportée par des éléments inclinés au niveau de chaque plancher. Des tôles profilées CF100 à ondes moins profondes ont été utilisées dans cette zone en console, ce qui a permis des portées de 3,6 m sans étayage (la réalisation d'un étayage n'étant pas pratique dans cette zone). La structure en acier a été réalisée par un groupement de trois entreprises de construction métallique, les poutres ASB et les tôles profilées étant fournies par la société Dutch Engineering.

L'installation de la structure en acier de 1.000 tonnes n'a pris que 28 semaines, malgré sa complexité et les conditions difficiles du chantier. L'encombrement du chantier limitait le nombre de livraisons et les accès des véhicules sur le chantier. Notons enfin que le choix d'une structure plus légère a également permis de réduire le montant des travaux de terrassement.

**Détail du plancher.**

Photo avec l'aimable autorisation de Meyer & Van Schooten, Amsterdam

## Chambre de Commerce, Luxembourg

*Le nouveau siège de la Chambre de Commerce du Luxembourg exprime l'utilisation de l'acier dans son architecture et permet des économies d'énergie grâce à une dalle mixte sinusoïdale à parements en acier inoxydable et à circulation d'eau.*

### Avantages pratiques :

- Système de poutres intégrées à grande portée (portée de 12 m)
- Tôles profilées sinusoïdales à ondes apparentes et visuellement attrayantes pour le plancher
- Façade largement vitrée
- Dimensionnement résistant au feu
- Economies d'énergie grâce à une conception utilisant une circulation d'eau



Le siège de la Chambre de Commerce du Grand Duché du Luxembourg, situé sur le plateau de Kirchberg, comprend un bâtiment existant de 5.000 m<sup>2</sup> totalement restauré et un nouvel espace de 20.000 m<sup>2</sup> de bureaux. Un centre de conférences d'environ 8.000 m<sup>2</sup> complète cet ensemble avec un parking souterrain de 650 places sur quatre niveaux. La superficie totale des bâtiments est de 52.000 m<sup>2</sup>, parking compris. Le projet a coûté 70,4 millions d'euros et a été achevé en 2003.

Les nouveaux bâtiments forment une succession de quatre ailes distinctes reliées par des passerelles en verre, ainsi qu'un autre bâtiment situé sur la rue adjacente. Cet ensemble d'immeubles permet une flexibilité dans la disposition des bureaux. L'ossature est désolidarisée du rez-de-chaussée. Les bâtiments sont pourvus de vitrages solaires sérigraphiés. Les planchers sont réalisés avec des tôles profilées préfabriquées en acier inoxydable qui donnent un aspect ondulé aux parements intérieurs du plafond.

L'ossature mixte à quatre et cinq étages est composée de profilés en acier

laminés à chaud, de dalles en béton avec des profilés IFB "Integrated Floor Beams" intégrés et de poutres principales treillis sous-tendues. Ces poutres treillis ont une portée de 12,5 m, bien supérieure à la portée traditionnelle des poutres IFB.

Les tôles de plancher en acier inoxydable ont un profil sinusoïdal d'une hauteur de 180 mm, elles collaborent avec la dalle en béton coulée sur chantier et reposent sur la semelle inférieure des poutres en acier intégrées. Des canalisations sont placées dans la dalle et assurent le chauffage en hiver et le rafraîchissement en été. La température est contrôlée à l'aide d'écrans solaires présents sur la façade vitrée. Des ascenseurs vitrés contribuent à la clarté de ce nouveau siège, tout comme les espaces de bureaux qui sont modulés par des cloisons en verre et en acier.

L'action de diaphragme des dalles de plancher ainsi que les cages d'ascenseur et d'escalier verticales en béton assurent la stabilité horizontale du bâtiment. Le bâtiment C est stabilisé sur un côté par un contreventement K en acier.

**Equipe chargée du Projet**

Architecte :

**Vasconi Architectes**

Ingénieurs-Structures :

**Schroeder, N Green, A Hunt**

Ingénieurs Techniques et Fluides :

**RMC Consulting****Détails constructifs**

Les poutres en acier ont une portée atteignant 12,5 m et sont raidies transversalement par un treillis tubulaire positionné sous les poutres intégrées, ce qui augmente leur capacité de portée de 30%. Ces armatures ne sont pas visuellement gênantes et elles sont apparentes sous le plancher. Les équipements techniques passent sous les poutres et au-dessus des armatures afin de limiter l'épaisseur de plancher.

Les tôles sinusoïdales en acier inoxydable sont posées dans le même sens que les poutres principales et supportées par des poutres secondaires espacées de 4 m. Les tôles supportent le poids du béton et aucun étayage n'a été nécessaire pendant la construction.

La résistance incendie des poutres intégrées et des poteaux en acier a été évaluée par une étude d'ingénierie, qui a montré que l'on peut obtenir une résistance au feu de 60 minutes sans protection supplémentaire. Les poutres IFB sont en partie protégées par la dalle en béton et supportent la charge de calcul réduite dans des conditions d'incendie malgré la perte des armatures exposées.

En ce qui concerne les économies d'énergie, le mode de fonctionnement de la dalle à circulation d'eau est basée sur les 3 cycles suivants :

**Été - fonctionnement nocturne**

En été, une eau refroidie circule la nuit dans les canalisations en plastique noyées dans la dalle. Le circuit d'eau est inversé de 28/33°C à 14/18°C à 8 heures du matin.

**Été - fonctionnement diurne**

Si le refroidissement nocturne de la dalle en béton n'atteint pas les paramètres précédemment fixés le matin (par exemple une température maximum de 21°C), le circuit de refroidissement continue à fonctionner et l'eau est refroidie par le circuit du rafraîchisseur à absorption (à une température de 9/18°C).

L'équilibre entre chauffage et refroidissement s'obtient grâce à des poutres caissons ajourées situées dans le plafond et refroidies par les circuits de chauffage et de refroidissement. L'air pré-traité est insufflé au travers d'un échangeur et mélangé par "effet Venturi" à l'air existant.

**Hiver**

La dalle de plancher est chauffée pendant les mois d'hiver par la circulation d'eau chaude dans les canalisations en plastique situées dans la dalle. Le chauffage de l'eau est complété par un échangeur thermique utilisant des capteurs solaires.



Canalisations de chauffage/refroidissement à circulation d'eau situées dans la dalle de plancher



Tôles profilées en acier inoxydable et unités d'éclairage/de ventilation

## Tours HighLight, Munich

*Quartier nord de Munich : réalisation d'un nouvel ensemble d'immeubles de bureaux de haute qualité offrant transparence et flexibilité grâce à l'utilisation d'une structure en acier innovante.*

### Avantages pratiques :

- Flexibilité intérieure maximum en raison de l'absence de noyaux et de murs en béton
- Système de contreventement innovant utilisant des treillis tridimensionnels en acier
- Transparence maximum des façades
- Panneaux de façade préfabriqués
- Environnement de travail de haute qualité



Les Tours HighLight constituent un ensemble de grande hauteur situé au nord de Munich, dans le nouveau quartier résidentiel et commercial de Parkstadt Schwabing. Leur emplacement est important, à la fois pour le voisinage immédiat et pour la ville dans son ensemble, car ces tours surplombent la jonction de l'autoroute venant du nord avec le principal périphérique autour du centre de l'agglomération.

L'objectif du concept était d'offrir un maximum de transparence et de flexibilité en utilisant un minimum de matériaux. Toutes les zones offrent une flexibilité d'utilisation, un confort élevé, une ventilation naturelle et une atmosphère de travail agréable. L'aspect élancé et la transparence sont le fruit d'une conception et d'une réalisation technique innovantes, qui ne pouvaient être obtenues que grâce à une construction mixte et en acier.

Les tours de grande hauteur ne possèdent ni contreventement, ni noyau en béton, ni murs intérieurs porteurs. Tous les murs intérieurs sont des cloisons légères ou vitrées de même que les parois des cages d'escaliers.

L'ensemble est composé de quatre bâtiments : La Tour HighLight 1 et la Tour HighLight 2 (33 et 28 étages) sont flanquées d'un bloc hôtelier de faible hauteur (7 étages), et d'un forum HighLight (5 niveaux). Les deux derniers bâtiments constituent une transition en douceur vers l'environnement commercial en plein développement.

Les bâtiments élancés de grande hauteur ont une forme rhomboïdale\* d'une longueur d'environ 80 m et d'une largeur de 13,5 m chacun.

La superficie totale des planchers est d'environ 68.000 m<sup>2</sup>, comprenant 61 étages de plus de 1 000 m<sup>2</sup> chacun destiné à la location. La hauteur sous plafond est de 7,5 m pour le rez de chaussée et de 3,5 m pour tous les étages supérieurs.

Les passerelles reliant les bâtiments ainsi que les cages d'ascenseurs vitrées n'ont aucune fonction structurale mais jouent un rôle primordial dans l'aspect visuel de cet ensemble.

\* parallélépipède dont les faces sont des losanges



**Equipe chargée du Projet**

Mapitrise d'ouvrage :

**KanAm-Gruppe, München****Aareal Bank AG, Wiesbaden**

Architectes :

**Murphy/Jahn Inc. Architects**

Ingénieur-Structures :

**Werner Sobek****Ing. GmbH & Co. KG**

Construction Métallique :

**Stahl + Verbundbau GmbH**

Entreprise Générale :

**Strabag AG**

Façades :

**Schmidlin AG****Détails constructifs****Structure porteuse**

La structure principale des deux tours est une construction mixte innovante faite d'acier et de béton. Les éléments principaux sont des poteaux en acier tubulaires remplis de béton avec un noyau plein en acier et des dalles planes en béton armé comportant des poutres en allège sur la périphérie. Les tours sont stabilisées par deux ossatures en acier triangulées aux deux extrémités des bâtiments. Elles sont composées de trois sections de treillis assemblées :

- 1 treillis de 12 m de large disposé sur la largeur du bâtiment ;
- 2 treillis de 8 m et 6,75 m de large disposés parallèlement aux longs pans.

En plan, ces trois sections forment un U.

Chaque module de contreventement couvre verticalement deux étages, ce qui signifie que les poteaux et les diagonales traversent les planchers intermédiaires situés entre deux nœuds principaux de l'ossature.

Les poteaux situés à l'extérieur du treillis de contreventement sont conçus comme des poteaux mixtes, en général des profilés tubulaires remplis de béton avec un noyau en acier. Dans les deux bâtiments de grande hauteur, on a utilisé plus de 1100 poteaux mixtes assemblés

*Aperçus du processus de construction des structures de contreventement en acier.*  
Photos avec l'aimable autorisation de stahl+verbundbau GmbH, Dreieich

les uns aux autres comme dans un jeu de construction.

En général, l'acier utilisé est du S355. Pour les assemblages, on a utilisé des aciers à haute résistance S460 et S690 en tenant compte de la soudabilité et la nécessité de réduire les contraintes résiduelles.

Les planchers intermédiaires sont des dalles planes en béton armé de 280 mm d'épaisseur, comportant un système de chauffage et de refroidissement intégré. Chacune des tours est habillée d'une structure tridimensionnelle totalement vitrée. Cette structure en acier et en verre s'étend sur deux étages, ceinturant la galerie du niveau le plus élevé.

Les quatre bâtiments de cet ensemble sont situés sur un parking souterrain de trois niveaux.

Tous les éléments porteurs et les contreventements ainsi que leurs appuis sont conçus pour une résistance au feu de 120 minutes, et les autres éléments pour une résistance de 90 minutes.

**Façades**

Chaque tour est revêtue d'un mur-rideau à simple peau, fait de panneaux de façade préfabriqués d'une hauteur d'étage et utilisant des profilés métalliques thermiquement isolés. Chaque panneau est divisé en deux sections comportant des écrans solaires, de 400 et 950 mm de largeur, la petite section pouvant s'ouvrir pour permettre une ventilation naturelle.

## Palestra, Londres

*Sur la Route de Blackfriars à Londres, un concept de bâtiment utilise une gamme de nouvelles technologies de construction en acier : poteaux remplis de béton et poutres jumelées continues permettent une hauteur minimale de structure.*

### Avantages pratiques :

- Longues portées mais construction de hauteur réduite
- Plancher rigide en raison de la continuité des poutres
- Poteaux tubulaires inclinés
- Conception résistante naturellement à l'incendie
- Façade largement vitrée
- Rapidité du programme de construction



Le bâtiment Palestra de 28.000 m<sup>2</sup> à usage commercial situé dans le quartier de Southwark, à Londres a été dessiné par l'architecte Alsop. L'ossature utilise de nombreux concepts de dimensionnement innovants. L'ossature mixte de 12 étages est constituée de poteaux tubulaires supportant des paires de poutres alvéolaires continues attachées aux poteaux par des cornières.

A partir du 9<sup>ème</sup> étage, le bâtiment présente une saillie de 9 m sur la façade arrière et de 1,5 m sur les façades latérales. Au rez-de-chaussée et au 7<sup>ème</sup> étage, les poteaux sont inclinés pour accroître l'intérêt visuel, ce qui a été rendu possible par le système structural inhabituel choisi par l'ingénieur constructeur, Buro Happold.

Avec une largeur de 31,5 à 36 m et une longueur d'environ 90 m, le bâtiment comporte trois gaines techniques et une

cage d'ascenseur. La hauteur entre planchers n'est que de 3,65 m. L'ossature en acier de 3.500 tonnes a été installée en seulement 32 semaines, et la structure a été achevée en 10 mois, sur une durée totale de construction de 30 mois.

Les équipements techniques comportent des ventilo-convecteurs positionnés entre les poutres. Les conduites et canalisations passent dans une zone de 400 mm d'épaisseur sous la poutre secondaire et par les ouvertures circulaires régulières dans les poutres principales, ce qui facilitera les rénovations futures de ces équipements.

On a préféré utiliser des poteaux tubulaires remplis de béton et renfermant un profilé tubulaire CHS interne, plutôt que des tubes en acier remplis de béton armé. Ainsi, la résistance à la compression est améliorée et la résistance incendie de ces poteaux de 508 mm de diamètre

**Equipe chargée du Projet**

Maîtrise d'ouvrage :

**Blackfriars Investments and  
Royal London Asset Management  
joint venture**

Architecte :

**Alsop and Partners**

Ingénieur-Structures :

**Buro Happold**

Entreprise générale :

**Skanska**

Entreprise de Construction Métallique :

**William Hare**Entreprise en charge des  
planchers métalliques :**Richard Lees Steel Decking Ltd***Paires de poutres alvéolaires**Assemblage d'un poteau tubulaire*

atteint 120 minutes sans application d'une protection supplémentaire (revêtement intumescent ou plaques). Les poteaux ont été remplis de béton sur 9 étages. A partir de leur sommet. Cette technique a augmenté la rapidité d'installation et simplifié le programme de construction. Des trous ménagés au sommet et à la base des poteaux au niveau de chaque hauteur d'étage doivent assurer l'évacuation de la vapeur d'eau qui se formerait à l'intérieur des poteaux en cas d'incendie.

La façade est totalement vitrée au moyen de panneaux (Permasteelisa) de la hauteur d'un étage. Leur principe consiste en un système de structure vitrée collée.

### Détails constructifs

Les poutres alvéolaires reconstituées jumelées ont une hauteur de 600 mm et sont positionnées dans la zone des équipements techniques (épaisseur : 900 mm). Les poutres comportent en général des semelles d'une épaisseur de 25 mm et une âme de 15 mm d'épaisseur. Elles sont dimensionnées pour transmettre le cisaillement malgré les ouvertures de 400 mm de diamètre non raidies. L'aspect continu des poutres principales augmente la rigidité et améliore les caractéristiques de vibration de la structure de plancher.

Les poutres secondaires de 200 mm de hauteur sont mixtes. Elles ont une portée de 6,65 m entre les poutres principales jumelées. Elles sont attachées sur l'âme des poutres principales de sorte que la

partie supérieure de la dalle mixte de 140 mm d'épaisseur affleure la partie supérieure des poutres principales.

La résistance au feu atteint 90 minutes uniquement grâce à l'application d'une seule couche mince de revêtement intumescent sur les poutres reconstituées. Les poutres principales sont également conçues pour collaborer avec la dalle. Au lieu d'utiliser des connecteurs conventionnels, l'action mixte est obtenue en noyant des armatures en continuité dans la dalle au travers de trous pratiqués dans l'âme.

Sur deux étages, les poteaux sont inclinés, et cette disposition, combinée au porte-à-faux significatif du 9<sup>ème</sup> étage, exerce sur le bâtiment des forces horizontales permanentes dont l'intensité est de l'ordre de 20 fois celles exercées sur le bâtiment par les vents. L'ossature en acier et béton transmet ces forces importantes sur le dispositif de contreventement en K en acier.

La dalle mixte utilise des tôles profilées Ribdek 60 ou Ribdek 80, selon la portée. La conception de détails constructifs particuliers s'est avérée nécessaire au niveau des poutres principales aux emplacements où les tôles n'étaient pas directement supportées par la semelle de la poutre. Le soudage de plaques sur l'âme de la poutre à intervalles réguliers et la fixation de cornières légères en acier sur les plaques ont été nécessaires pour éviter les déformations locales et pallier un manque de résistance du béton.

## Rénovation de l'Alhóndiga, Bilbao

*Alhóndiga, ancien cellier municipal de Bilbao et bâtiment historique, est transformé en espace multidisciplinaire. D'une surface de 40.000 m<sup>2</sup>, l'Alhóndiga Bilbao hébergera le nouveau Centre Culturel et de Loisirs divisé en quatre zones et comportant une structure en acier pesant plus de 4.000 tonnes.*

### Avantages pratiques :

- Économie et qualité grâce à une fabrication hors chantier
- Un maximum de flexibilité pour s'adapter aux solutions architecturales
- Rapidité du programme de construction
- Grande portée des planchers, offrant une utilisation optimale de l'espace
- Poteaux élancés, donnant une impression d'espace ouvert
- Réalisation d'économies pour la satisfaction des exigences de résistance incendie



Vue aérienne du chantier de construction (Mai 2006)



L'Alhóndiga, célèbre cellier municipal de Bilbao, a été conçu par l'architecte Ricardo Bastida. Ce bâtiment en briques et béton armé fut achevé en 1909. Désaffecté à partir de 1970, sa rénovation a été décidée en 1998. Ce projet de rénovation Alhóndiga Bilbao a été conduit en plusieurs phases.

En 2001, l'intérieur du bâtiment original a été démolé dans sa totalité à partir du rez-de-chaussée. Ensuite, il a été procédé au renforcement des anciens murs périphériques, des sous-sols et des niveaux semi enterrés, ainsi qu'à la rénovation de la façade et des tours. Puis en 2002, a débuté la construction d'un parking souterrain d'une capacité de 985 places de stationnement sur 5 niveaux (5.800 m<sup>2</sup> par niveau) qui s'est achevée en novembre 2004.

La dernière phase du projet a commencé en décembre 2005 : il s'agit de la construction de trois bâtiments polyvalents de 7 étages (2 niveaux semi enterrés, un rez-de-chaussée et 4 étages supérieurs) ainsi que d'un vaste atrium ouvert au rez-de-chaussée.



(Ci-dessus) Console périphérique des poutres en treillis de l'atrium

(Haut) L'Alhóndiga en cours de construction

L'Alhóndiga Bilbao abritera un nouveau centre culturel qui offrira un espace polyvalent dédié aux activités liées aux connaissances, à la santé et aux loisirs. Ce bâtiment doit constituer une référence pour la promotion et le développement d'une culture urbaine, de la modernité, de nouvelles tendances et d'une vie saine. Le budget total du projet est d'environ 65 millions d'euros. Le bâtiment rénové a été conçu par le bureau d'études français Philippe Starck, et sa superficie totale est supérieure à 40.000 m<sup>2</sup>.

A l'intérieur du bâtiment, on a utilisé environ 4.000 tonnes d'acier et 14.000 m<sup>2</sup> de dalles alvéolaires en béton précontraint.

**Equipe chargée du Projet**

Maîtrise d'ouvrage :

**Bilbao Town Hall (La Alhóndiga,  
Centro de Ocio y Cultura, S.A.U.)**

Gestion du chantier :

**BILBAO Ría 2000**

Architecture et conception :

**Philippe Starck- Starck Networks**

Assistance Technique

et pilotage du Chantier :

**Temporary Company Merger****MECSA-ARUP**

Structures :

**Temporary Company Merger****for Structures Alhóndiga****(URSA S.Coop, DRAGADOS S.A.,****FONORTE Empresa****Constructora, S.A.)**

Assemblage boulonné d'un poteau situé dans un angle entre deux cubes



Structure en acier du hall d'entrée principal face aux cubes

**Détails constructifs**

L'atrium, d'une superficie de 6.195 m<sup>2</sup>, constitue la principale caractéristique ; il accueille le hall d'entrée et donne accès aux niveaux semi enterrés ainsi qu'aux trois bâtiments "cubiques". Ces cubes abritent la plupart des activités regroupées par thème (connaissances, santé et loisirs) et comprennent un auditorium, des salles de cinéma, une piscine, un gymnase, une école des Arts de la Scène et de la Danse, ainsi que des petits locaux administratifs.

**Structure**

La structure de l'atrium est composée de poteaux cruciformes fabriqués à partir de profilés HEA 550 (nuance d'acier S355JR) d'une longueur de 16 m. Le plafond de l'atrium est constitué de poutres à treillis (HEA 220 et HEB 140 dans les membrures) d'une portée de 8 m et d'une hauteur de 0,9 m. En périphérie se trouve une console de 9 m de portée et de 1,5 m de hauteur.

Les trois bâtiments cubiques possèdent des structures en acier similaires : poteaux réalisés avec des profilés creux circulaires de 700 mm de diamètre et de 3 m de hauteur disposés entre les planchers, et boulonnés sur les poutres en acier. La section des poutres utilisées dans les cubes varie en fonction de l'utilisation

**Délai d'exécution**

Début :

**Décembre 2005**

Inauguration :

**Mi 2009**

fonctionnelle du bâtiment. Un des cubes est constitué de poutres à treillis doubles de 0,9 m de hauteur et de 17 m de portée. Le cube utilisé pour les sports est constitué de poutres à âme pleine de 1,6 m de hauteur et 35 m de portée.

Les assemblages de l'ossature en acier ont été boulonnés sur le chantier, méthode choisie pour des raisons de rapidité de construction et d'indépendance vis-à-vis des conditions météorologiques.

**Concept de sécurité incendie**

Pour le calcul du comportement au feu de la structure, on a appliqué la norme espagnole CTE DB-SI. Une partie de la structure en acier est exposée, et une protection particulière incendie était donc nécessaire. Ce système de protection incendie utilise un revêtement intumescent qui confère une résistance au feu de 60 minutes à la structure principale.

La résistance initialement exigée par la norme CTE DB-SI était de 120 minutes, mais cette exigence fut réduite à 60 minutes par l'adoption d'une approche d'ingénierie incendie (FSE). Cette approche FSE a permis d'effectuer plusieurs analyses démontrant les niveaux de sécurité de l'Alhóndiga Bilbao grâce aux études spécifiques suivantes :

- évacuation des fumées dans l'atrium ;
- analyse de la résistance incendie de la structure complète ;
- simulations d'incendies approfondies effectuées au moyen de scénarios d'incendie.

**ArcelorMittalMittalMittal**

Long Carbon, Research and Development,  
66, rue de Luxembourg, L - 4009 Esch/Alzette, Luxembourg  
[www.ArcelorMittalmittal.com](http://www.ArcelorMittalmittal.com)

**Bouwen met Staal**

Boerhaavelaan 40, NL - 2713 HX Zoetermeer,  
Postbus 190, NL - 2700 AD Zoetermeer, The Netherlands  
[www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)

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

Espace Technologique, L'orme des merisiers - Immeuble Apollo,  
F - 91193 Saint-Aubin, France  
[www.cticm.com](http://www.cticm.com)

**Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)**

Sohnstraße 65, D - 40237 Düsseldorf,  
Germany  
[www.stahlforschung.de](http://www.stahlforschung.de)

**Labein - Tecnalia**

C/Geldo - Parque Tecnológico de Bizkaia - Edificio 700,  
48160 Derio, Bizkaia, Spain  
[www.labein.es](http://www.labein.es)

**SBI**

Vasagatan 52, SE - 111 20 Stockholm,  
Sweden  
[www.sbi.se](http://www.sbi.se)

**The Steel Construction Institute (SCI)**

Silwood Park, Ascot, Berkshire,  
SL5 7QN, United Kingdom  
[www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org)

**Technische Universität Dortmund**

Fakultät Bauwesen - Lehrstuhl für Stahlbau  
August-Schmidt-Strasse 6, D - 44227 Dortmund, Germany  
[www.uni-dortmund.de](http://www.uni-dortmund.de)