

Bonnes Pratiques pour la Construction de Structures en Acier

BÂTIMENTS À USAGE

RÉSIDENTIEL

Guide destiné aux Architectes, Concepteurs et Constructeurs



Table des Matières



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

www.cticm.com

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

Les partenaires du projet EuroBuild sont les suivants :

AcelorMittal

Bouwen met Staal

Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)

Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)

Labein Tecnia

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 978-1-85942-015-7

© 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 : Liljeholmstorget (Stockholm, Sweden).

Photographie : JM AB

01 Introduction



02 Facteurs-clés pour le Dimensionnement



03 Systèmes de Planchers



04 Systèmes de Murs



05 Ossatures Principales en Acier



06 Systèmes Modulaires



07 Systèmes de Façades et de Toiture



08 Pratiques Nationales



09 Etudes de Cas



01 Introduction

De nombreux facteurs conditionnent la conception des bâtiments résidentiels, parmi lesquels les nouvelles dispositions relatives au respect de l'environnement, ainsi que les performances thermiques et acoustiques. La nécessité de rationaliser l'occupation des sols, dans un souci de respect de l'environnement tout en améliorant les caractéristiques sociales de l'environnement bâti, a également un impact direct sur le choix d'un système de construction. La pression exercée pour répondre à ces défis, a créé une demande pour de plus hauts degrés de préfabrication et grâce à l'utilisation de procédés de construction plus efficaces et plus respectueux du développement durable, une qualité améliorée dans la performance de la technologie de construction choisie.

Les technologies de construction métallique ont conquis une part de marché importante dans d'autres secteurs de la construction, et ces mêmes technologies peuvent être utilisées dans les bâtiments résidentiels, avec les principaux avantages suivants : rapidité de construction, niveaux de qualité supérieurs, fiabilité et longévité, capacité d'offrir une utilisation de l'espace plus adaptable.

Cette publication présente les bonnes pratiques des technologies de construction métallique utilisées dans les bâtiments résidentiels de tous types, y compris les bâtiments à usage mixte commerciaux et résidentiels.

Les technologies de construction métallique peuvent être utilisées séparément ou combinées pour la réalisation de systèmes de construction

complets. Ces formes de construction "hybrides" permettent une grande variété de solutions pour la conception de bâtiments.

Ce guide couvre les aspects structuraux et relatifs à la physique des bâtiments. Les différences existant dans les pratiques nationales sont également identifiées. Les technologies de construction sont illustrées par une série d'exemples de cas de projets de bâtiments résidentiels récemment réalisés dans quatre pays.

Figure 1.1 Logements en bandes à 3 niveaux faisant appel à des ossatures légères en acier (Basingstoke, R.-U.) HTA Architectes



Facteurs-clés pour le

02 Dimensionnement

De nombreux facteurs conditionnent le dimensionnement des bâtiments résidentiels. On trouvera ci-dessous des informations d'ordre général permettant d'identifier les points essentiels du dimensionnement ainsi qu'une liste des avantages offerts par la construction métallique dans ce domaine.

Marché des bâtiments résidentiels

La construction de logements neufs représente environ 1% de la totalité des logements en Europe, mais ce secteur de construction est particulièrement l'objet de performances accrues et d'une plus grande attention quant au respect du développement durable en termes sociaux, économiques et environnementaux. Les bâtiments résidentiels sont responsables de 27% du total des émissions de CO₂ dans l'Union Européenne. Ils font donc l'objet d'améliorations dans l'efficacité de la consommation d'énergie.

La rénovation des logements, y compris l'extension et l'adaptation de bâtiments existants, représente un marché potentiel non négligeable.

Le secteur du bâtiment résidentiel présente des tendances importantes qui sont similaires dans tous les pays d'Europe :

- Amélioration des niveaux d'isolation thermique et incorporation des technologies d'énergies renouvelables dans le but de réduire la consommation d'énergie primaire dans ce secteur ;
- Constructions plus denses, en particulier dans les zones urbaines ou sur d'anciens sites industriels, afin d'optimiser l'occupation des sols ;
- Construction plus rapide avec moins d'interruptions de chantier et de meilleure qualité, grâce à l'utilisation des techniques de préfabrication ;
- Réduction des coûts de construction, de maintenance et de fonctionnement à long terme ;

- Augmentation des capacités de logement pour personnes seules et personnes âgées, reflétant les modifications des schémas sociaux ;
- Réalisation de bâtiments adaptables pour divers usages, et possibilités de changer d'utilisation sur le long terme.

Dans le secteur du bâtiment résidentiel de moyenne et grande hauteur, où la rapidité de construction joue un rôle important, les systèmes de construction métallique sont bien placés, en particulier si l'on utilise des technologies de préfabrication.

De plus en plus, la tendance s'oriente vers des bâtiments à usage mixte avec des espaces à usage commercial, à usage social et résidentiel formant un environnement "vie, travail, loisir". Dans ce contexte, la flexibilité d'utilisation à long terme et l'adaptabilité future constituent des aspects importants pour de nombreux types de bâtiments.

Pour les logements situés en zones urbaines, la préférence va de plus en plus aux bâtiments à trois niveaux plutôt qu'à deux niveaux, afin de réduire l'emprise du bâtiment et l'occupation des sols. L'exploitation efficace de l'espace des combles, permet de créer un étage supplémentaire. Les cuisines et les salles de bains peuvent être intégrées sous forme de composants modulaires complets afin d'optimiser les délais de construction et de réaliser des économies d'échelle lors de la fabrication.

Marché des bâtiments résidentiels

Respect du développement durable

Rapidité de construction

Usage à long terme

Isolation acoustique

Sécurité incendie

Performance thermique

Charges

Figure 2.1 Immeuble d'appartements à Helsinki montrant l'utilisation de balcons intégré
Kahri Architects



Respect du développement durable

Les questions relatives à l'environnement et au développement durable occupent une part croissante dans la conception des nouveaux bâtiments résidentiels. Les exigences intégrées dans des règlements nationaux traitent des performances thermiques. Le respect du développement durable est une tendance actuellement très demandée. Elles peuvent être caractérisées par des points spécifiques destinés à :

- Réduire la consommation d'énergie primaire et donc les émissions de CO₂ ;
- Limiter l'utilisation de matériaux et la production de déchets et favoriser le recyclage des déchets dans la construction ;
- Utiliser l'eau efficacement et prendre des dispositions en vue du recyclage des eaux usées ;
- Éliminer la pollution et protéger l'environnement local ;
- Concevoir des espaces publics attractifs, améliorer la santé et le bien-être dans l'environnement des bâtiments.

Les technologies de construction métallique sont bien adaptées pour ces

applications. Par exemple, l'acier est recyclable à 100% et la petite quantité de déchets produits en cours de fabrication et de construction est recyclée. Tous les éléments en acier peuvent être réutilisés ou recyclés en fin de vie.

La préfabrication des ouvrages en acier améliore la productivité sur chantier et la rapidité de construction dans une proportion pouvant atteindre 70%. Cela réduit les perturbations locales lors du chantier. La construction métallique permet la réalisation d'espaces adaptables et reconfigurables ce qui permet de réaliser des bâtiments à longue durée de vie en prévoyant des fonctionnalités diverses et des évolutions futures.

Rapidité de construction

Une des caractéristiques de toutes les technologies de construction métallique est la rapidité de construction sur chantier et la productivité améliorée grâce à une construction plus efficace utilisant la préfabrication. Des études ont montré que les systèmes bidimensionnels ou à base de panneaux sont construits 30 à 40% plus rapidement qu'une construction en maçonnerie, par exemple, et que des

principes modulaires en 3D sont 60 à 70% plus rapides que les méthodes plus traditionnelles.

Les avantages financiers d'une construction rapide sont les suivants :

- Réduction du coût des installations et de la gestion du chantier ;
- Retour sur investissement plus rapide ;
- Réduction des frais bancaires pendant la période de construction ;
- Réduction de trésorerie et meilleure rentabilité du capital.

La rapidité de construction est particulièrement importante pour les grands bâtiments résidentiels et pour les bâtiments comme les cités universitaires qui doivent être réalisés dans une période très courte avant le début de l'année scolaire.

Usage à long terme

Les bâtiments résidentiels sont habituellement dimensionnés pour une durée de vie de 60 ans pour l'ossature principale et l'enveloppe du bâtiment. Cependant, les bâtiments doivent posséder une certaine flexibilité d'utilisation et être adaptables aux demandes futures, ce que permettent les



Figure 2.2 Résidence universitaire à 16 niveaux construite au moyen d'une ossature principale en acier et des murs de remplissage en éléments minces en acier (Southampton, R.-U.)



Figure 2.3 Immeuble d'appartements à ossature en acier à Evreux, France, réalisé à partir d'éléments minces en acier associés à des parements légers pour les planchers et les murs Architectes : Dubosc & Landowski

Type de chargement	Valeur typique (kN/m ²)
Charges imposées :	
Usage résidentiel	1,5 à 2,0
Couloirs et zones communes	3
Zones commerciales	2,5 à 4
Cloisons (légères)	0,5 à 1,0
Poids propres :	
Parois en éléments minces en acier	0,5 à 1,0
Planchers en éléments minces en acier	0,7
Toitures légères	0,5
Toitures en tuiles	0,9
Ossature en acier de construction	0,3 à 0,5
Dalles de plancher mixtes	2,5 à 3,5
Dalle préfabriquée en béton	2,5 à 4

Tableau 2.1 Charges typiques utilisées dans les bâtiments résidentiels

technologies de construction métallique grâce à l'utilisation de cloisons légères repositionnables, de planchers à grandes portées et de systèmes de combles aménageables.

Les composants en acier galvanisé sont robustes et durables, comme le montrent les mesures effectuées sur des bâtiments soumis à différentes conditions climatiques. On prévoit une durée de vie de calcul de plus de 100 ans.

Isolation acoustique

Dans les espaces de vie, une isolation acoustique efficace des planchers et des murs de séparation est primordiale pour le confort des occupants. Pour la transmission des bruits aériens, la performance acoustique est caractérisée par un indice d'affaiblissement acoustique entre les pièces exprimé par l'indice $D_{nT,w}$ en dB et est basé sur un essai normalisé effectué conformément à l'EN ISO 717-1. Il couvre une plage de fréquences sur des bandes de 16 tiers d'octaves de 100 à 3150 Hz. Pour les bruits d'impact, qui concernent les planchers, la transmission d'un bruit par le plancher est caractérisé

par l'indice $L_{t,w}$. La mesure est réalisée au moyen d'une machine à impacts normalisée. Il ne doit pas dépasser une valeur maximum.

Pour une performance acoustique acceptable, un affaiblissement des bruits aériens de 45 dB est correct pour les murs et planchers situés entre des espaces de vie distincts. Ce paramètre est vérifié expérimentalement sur les bâtiments achevés en tenant compte de la transmission acoustique locale aux travers des liaisons, telles que celles situées au niveau des jonctions entre les planchers et les murs.

Sécurité incendie

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

La résistance au feu est basée, pour des raisons d'étalonnage, sur les résultats d'essais au feu normalisés. Elle est exprimée par paliers de 30 minutes. Pour les bâtiments résidentiels à partir de la 2ème famille, une résistance minimum au feu de 30 minutes est exigée, augmentée à 60 minutes pour la 3ème famille, selon les règles nationales.

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

Performance thermique

Un des moyens les plus efficaces de réduire la consommation d'énergie primaire est d'améliorer la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment, en limitant les déperditions thermiques et en renforçant l'étanchéité à l'air. L'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment est caractérisée par une valeur

U, qui représente la déperdition thermique par unité de surface de l'enveloppe pour une différence de température de 1°K entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

Des valeurs maximales du U sont fixées par la réglementation :

- U est inférieur ou égal à 0,45 W/m²K pour les éléments de façade,
- U est inférieur ou égal à 0,34 ou 0,41 W/m²K pour les toits.

Ceci peut être obtenu en plaçant l'isolation à l'extérieur du toit et des parois en éléments minces de sorte à limiter les ponts thermiques et la condensation. Une innovation consiste à utiliser des profilés en éléments minces en acier perforés ou rainurés afin de réduire les effets des ponts thermiques. La plupart du temps, l'isolation peut être placée efficacement entre les composants en éléments minces en acier, permettant ainsi une réduction de l'épaisseur des parois.

Charges

Les principaux types de charges à prendre en compte dans le dimensionnement des bâtiments résidentiels sont les suivants :

- Poids propre des matériaux et équipements (y compris les finitions) ;
- Charges d'exploitation (y compris les charges plus importantes dans les zones communes) ;
- Actions climatiques : vent et neige (sur les toitures).

Des charges typiques sont présentées dans le Tableau 2.1. Les bâtiments à ossature en acier sont bien plus légers que les bâtiments en béton ou en maçonnerie. Ils permettent des économies sur les coûts des fondations.

03 Systèmes de Planchers

Ce chapitre décrit les principaux systèmes de planchers utilisés dans les bâtiments résidentiels. Il présente les caractéristiques de chaque système et les questions importantes relatives au dimensionnement.

Les planchers peuvent être réalisés entre des murs porteurs en éléments minces en acier, ou peuvent être portés par des poutres en acier faisant partie de l'ossature principale.

Trois formes génériques de planchers sont traitées dans ce guide :

- Planchers en éléments minces en acier ;
- Dalles de planchers mixtes ;
- Dalles mixtes de forte épaisseur.

Les profilés des planchers en éléments minces sont habituellement en forme de C, bien qu'ils puissent prendre la forme de treillis pour les portées les plus longues. Ces éléments peuvent être mis en oeuvre en tant que composants individuels ou comme des panneaux bidimensionnels, sous forme de cassettes de plancher préfabriquées.

Les dalles mixtes sont composées de béton coulé sur chantier sur des tôles profilées en acier. Les dalles mixtes sont de plus en plus utilisées dans les bâtiments résidentiels en raison de leur comportement plus rigide, excellent du point de vue acoustique et pour la résistance au feu. Les poutres en acier sont normalement conçues pour collaborer avec la dalle. Cependant dans certains cas, les dalles mixtes sont portées directement par des murs en éléments minces en acier.

Les dalles mixtes de forte épaisseur peuvent être de diverses formes, comportant des tôles à profils plus profonds permettant habituellement une épaisseur de plancher totale de 300 mm. Des poutres peuvent être intégrées dans l'épaisseur de la dalle, évitant ainsi les retombées - voir Chapitre 4.

Solives de plancher en éléments minces en acier

Dalles de plancher mixtes

Dalles mixtes de forte épaisseur

Figure 3.1 *Systèmes de planchers utilisant des solives en acier formées à froid appuyées sur des murs en éléments minces*
Systèmes de Construction Fusion



Solives de plancher en éléments minces en acier

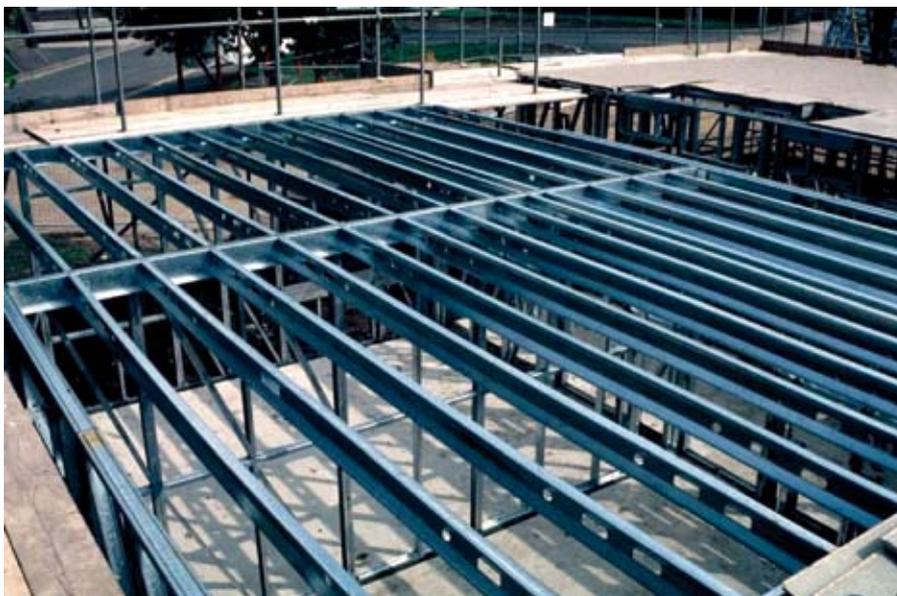


Figure 3.2 Solives de plancher en éléments minces appuyées sur des profilés en Z positionnés sur des murs porteurs en éléments minces

Description

Les solives en profilés C ont habituellement une hauteur de 150 à 300 mm et sont fabriquées en acier galvanisé (avec une couche totale de zinc G275 de 40 microns) de nuance S280 à S390 selon l'EN 10326 dans des épaisseurs de 1,6 à 2,4 mm. Les solives en formes de treillis ont habituellement une hauteur de 300 à 500 mm et permettent de passer des équipements techniques d'un diamètre maximum de 100 mm entre les éléments d'entretoisement. Les solives sont habituellement espacées de 400 mm à 600 mm afin de s'aligner avec les portées et les dimensions des panneaux de plafond et de plancher.

Les solives de plancher sont fixées directement sur les éléments supports ou appuyées sur des profilés en Z positionnés sur les poutres ou les murs, de façon à ménager une certaine flexibilité de positionnement. Lorsqu'elles sont fabriquées sous forme de cassettes 2-D, elles comportent souvent des points d'attache spécialement prévus pour la fixation des planchers sur les murs.

Des chapes sèches à base de plâtre peuvent être placées sur les planchers pour améliorer leur rigidité et leur isolation acoustique. On peut utiliser des tôles profilées en acier pour remplacer les panneaux de plancher et réaliser un comportement mixte avec les solives. Cette forme de construction est illustrée dans la Figure 3.3.

Pour les zones comportant des portées plus longues, on peut utiliser des profilés laminés à chaud ou reconstitués pour supporter les solives. Ces poutres peuvent être intégrées dans l'épaisseur du plancher de façon à poser les solives sur leur semelle inférieure, comme indiqué dans la Figure 3.4.

Considérations importantes concernant le dimensionnement

Pour obtenir à la fois une isolation acoustique et une résistance au feu satisfaisantes, les solives de plancher supportent les panneaux de plancher situés au-dessus et les plaques de plâtre situées au-dessous. Ces exigences conduisent souvent à utiliser 2 (voire 3) parements en plaques de plâtre pour le plafond, et à placer de la laine minérale ou de la laine de verre entre les solives. Cela constitue une épaisseur suffisante. Dans les salles de bains et les cuisines, il peut être nécessaire de prévoir une zone technique distincte sous le plancher, et donc l'utilisation d'un plafond suspendu.

La légèreté de ces planchers signifie qu'ils sont sensibles aux vibrations ; le dimensionnement doit s'assurer de ne pas produire d'effet de résonance causé par la marche ou toute autre activité normale. On adopte en général une fréquence naturelle minimum de 8 Hz pour les planchers en éléments minces afin de réduire l'effet d'une marche rapide et autres impacts sur les vibrations.

Avantages

- Facilité d'installation sur site.
- Les panneaux fixés sur les solives assurent l'isolation acoustique et la résistance au feu.
- Large disponibilité de solives de différentes dimensions.
- Les cassettes de plancher peuvent être fabriquées et installées comme des composants plus grands.

Résistance au feu

La résistance au feu du plancher est obtenue grâce à deux (ou trois) épaisseurs de plaques de plâtre résistant au feu (Plaques de type F selon l'EN 520). Les mesures prises pour assurer une isolation acoustique efficace permettent en général d'obtenir une résistance au feu de 60 minutes. On obtient aisément un degré de résistance au feu de 60 minutes en plaçant 2 plaques de plâtre « spéciales feu » de 12,5 mm d'épaisseur sous les solives de plancher.



Figure 3.3 Solives en treillis supportant une chape en plâtre utilisées dans les planchers de longues portées
Systèmes de Construction Metek

Figure 3.4 Solives de plancher en éléments minces appuyés sur des poutres laminées à chaud en acier
Ruukki



Isolation acoustique

Les détails constructifs illustrés dans la Figure 3.5 permettent d'obtenir un niveau élevé d'isolation acoustique, en évitant les déperditions acoustiques au niveau des jonctions murs-planchers. La transmission sonore est réduite en utilisant divers types de revêtements de sol résilients et en plaçant de la laine minérale entre les solives.

Charges et flèches

Les solives en éléments minces en acier supportent habituellement des charges imposées maximales de 3 kN/m² pour des portées de 3 à 6 m (Tableau 3.1). Les flèches doivent normalement être limitées aux valeurs maximales suivantes, afin que les déformations ne soient pas visibles et pour réduire les vibrations perceptibles du plancher :

- 1/350 ème de la portée, ou un maximum de 15 mm sous l'effet du poids propre et de la charge imposée (valeurs caractéristiques) ;
- 1/450 ème de la portée sous l'effet de la charge imposée seule ;
- Flèche locale inférieure à 1,5 mm sous l'effet d'une charge ponctuelle de 1 kN, en utilisant une répartition correcte de la charge ponctuelle sur les solives.

La flèche limite de 15 mm garantit que le plancher respecte la limite de fréquence naturelle de 8 Hz. Les portées maximales indiquées dans le Tableau 3.1 sont déduites de ces exigences.

Épaisseur hors tout de plancher

L'épaisseur hors tout d'un plancher à solives en éléments minces, comprenant l'isolation acoustique et un plafond en panneaux de plâtre, est habituellement de :

- 300 mm pour des portées de plancher allant jusqu'à 3,8 m ;
- 400 mm pour des portées de plancher allant jusqu'à 4,8 m ;
- 500 mm pour des portées de plancher allant jusqu'à 6 m.

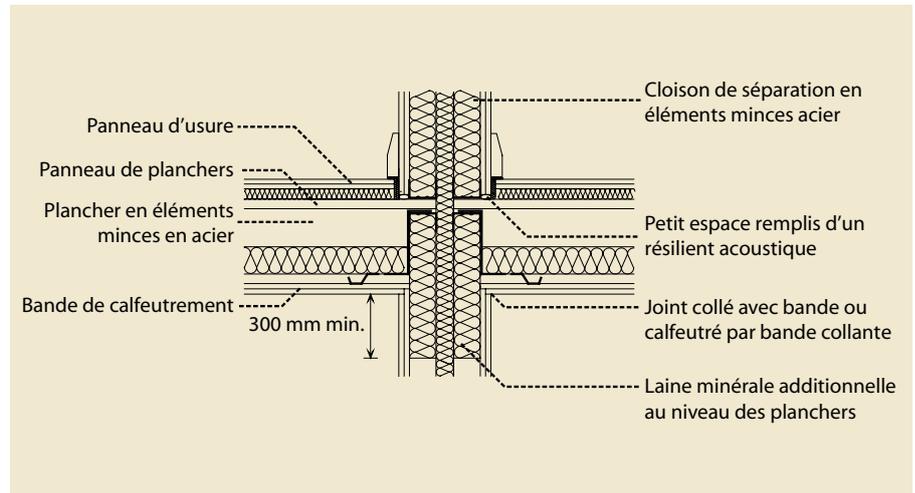


Figure 3.5 Isolation acoustique d'un plancher en éléments minces et détails constructifs au niveau d'un mur de séparation

Solives de planche	Espacement des solives (mm)	Portée max pour une maison (m)	Portée max pour des appartements (m)
150 x 1,6 C	400	3,8	3,6
200 x 1,6 C	400	4,8	4,5
200 x 2,0 C	400	5,2	4,8
Solives en treillis de 250 mm	400	5,0	4,8
Solives en treillis de 300 mm	400	5,5	5,2
solives en treillis de 300 mm avec chape en plâtre de 40 mm	600	6,0	5,7

Maison : Charges imposée = 1,5 kN/m² Poids propre = 0,5 kN/m²
 Appart : Charges imposée = 1,5 kN/m² Poids propre = 0,7 kN/m² (1,7 kN/m² y compris chape en plâtre)

Tableau 3.1 Portées typiques de solives pour maisons et bâtiments résidentiels

Dalles de plancher mixtes

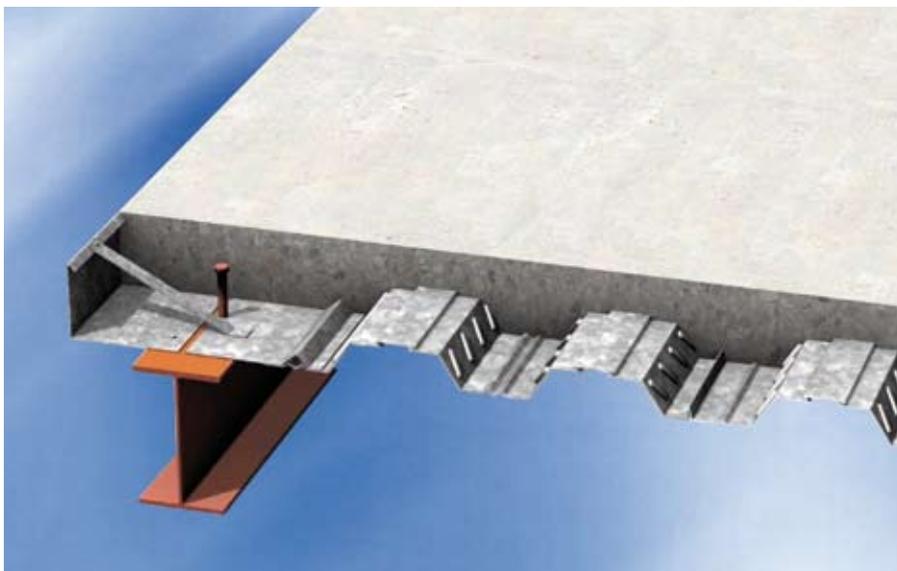


Figure 3.6 Dalle mixte typique et poutre de rive mixte en acier Kingspan

Description

Les dalles de planchers mixtes sont composées de béton coulé sur chantier sur des tôles profilées en acier, comme illustré dans la Figure 3.6. Les planchers mixtes permettent la réalisation de portées de 2,5 à 4,5 m en utilisant des tôles profilées en acier de 50 à 80 mm de hauteur avec des épaisseurs d'acier de 0,8 à 1,2 mm. Aucun étayage provisoire n'est nécessaire pendant la construction, sous réserve que la hauteur des tôles soit convenablement choisie pour la portée considérée.

Une dalle mixte a habituellement une épaisseur de 120 à 160 mm et comporte un treillis soudé d'armature (par exemple A142 à A193, défini par l'aire d'armature (en mm^2/m)). Dans certains cas, des armatures supplémentaires sont placées dans la nervure des tôles afin d'améliorer la résistance à la flexion et la résistance au feu de la dalle. Toutefois, une résistance au feu de 90 minutes peut être obtenue en utilisant un treillis d'armature nominal de 0,2% de l'aire de section transversale de la dalle.

Considérations importantes concernant le dimensionnement

Les dalles mixtes sont peu épaisses par rapport à leur portée (des rapports portée/épaisseur allant jusqu'à 32 sont possibles). Cependant, c'est la capacité de portée des tôles profilées en phase de coulage du béton non étayée qui conditionne le dimensionnement.

Pour la plupart des applications, un appui sur des poutres secondaires ou sur des murs porteurs est nécessaire dans les cas de portées suivants :

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

Le Tableau 3.2 donne des tables de calcul pour les dalles mixtes. Des portées plus longues peuvent être réalisées en construction étayée, sous réserve que le plancher support soit capable de résister aux charges d'étayage. Un dimensionnement optimal est atteint lorsque les tôles profilées sont placées en continuité sur un ou plusieurs appuis intermédiaires.

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Forme de construction rigide et robuste. • Large gamme de profils de tôles et d'épaisseurs d'acier pour un dimensionnement optimal. • Pas d'étais provisoire nécessaire pour la plupart des applications. • Isolation acoustique et résistance au feu satisfaisantes.
Résistance au feu	<p>L'épaisseur efficace de dalle a un effet direct sur la protection assurée dans un scénario d'incendie et, par conséquent, des dalles plus épaisses permettent d'obtenir des durées de résistance au feu plus longues. La quantité d'armature augmente également avec le degré de résistance au feu, car son efficacité diminue avec l'augmentation de la température. Le Tableau 3.2 donne les capacités de portée et de charge pour différentes épaisseurs de dalle, ainsi que les durées de résistance au feu pour les dalles mixtes de 120 à 150 mm d'épaisseur.</p>
Isolation acoustique	<p>Les planchers mixtes comportant des plafonds en plaques de plâtre permettent d'obtenir une excellente atténuation acoustique de plus de 60 dB.</p>
Charges et flèches	<p>Le Tableau 3.2 indique une série de portées en fonction de cas de charges. Dans les bâtiments résidentiels, l'utilisation de tôles profilées de 80 mm de hauteur dans des dalles de 150 mm d'épaisseur permet de réaliser des portées de 4,5 m sans étais provisoire, ce qui est idéal pour l'agencement de l'espace intérieur. Les flèches sous charges imposées sont limitées à 1/360ème de la portée, ce qui est plus exigeant que la pratique courante, mais les flèches de la sous-face des tôles profilées après bétonnage peuvent aller jusqu'à 1/180ème de la portée.</p>
Épaisseur hors tout de plancher	<p>L'épaisseur hors tout d'un plancher mixte peut atteindre 250 mm avec les couches d'isolation acoustique et le plafond en plaques de plâtre, mais augmente en raison de la hauteur de poutre si les poutres porteuses en acier ne sont pas intégrées dans les murs. Dans ce cas, il faut prévoir une épaisseur de plancher supplémentaire fonction de la retombée de la poutre.</p>

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

t = épaisseur des tôles profilées en acier *exigé pour le contrôle de la fissuration en construction étayée A193 = armature de 193mm²/m dans les deux sens.

(a) Bacs courants (60mm)

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

(b) Bacs profonds (80mm)

Tableau 3.2 Tableaux de dimensionnement pour planchers mixtes

Dalles mixtes de forte épaisseur



Figure 3.7 Ossature en acier avec plancher mixte de forte épaisseur, poutres ASB intégrées et murs de remplissage

Description

Les tôles profilées en acier de grande hauteur peuvent être conçues pour collaborer avec une dalle en béton afin d'obtenir une épaisseur hors tout de plancher typique de 300 mm. Des portées allant jusqu'à 6 m peuvent être réalisées sans recourir à un étayage provisoire. Le profil des tôles a habituellement une hauteur de 190 à 225 mm, selon le produit. En fonction des exigences relatives à la résistance au feu la couverture minimum de béton sur les tôles est de 70 à 90 mm.

Le système Corus *Slimdek* utilise soit une poutre asymétrique ASB soit un profilé HE muni d'une plaque inférieure soudée supportant les tôles profilées de forte hauteur, SD225 mm, comme indiqué dans la Figure 3.7. Ce système est largement utilisé dans le secteur résidentiel au Royaume-Uni et aux Pays-Bas, voir le chapitre 8. Les poutres de rive peuvent être des tubes rectangulaires, munis d'une plaque soudée pour des raisons d'aspect et de détails constructifs, et pour améliorer leur résistance à la torsion.

Hoesch Additif est un système de tôles profilées de forte hauteur utilisant des barres soudées transversalement sur la semelle supérieure d'un profilé IPE ou HE, sur lequel repose la partie supérieure du profil des tôles - voir Figure 3.8. Ce système est souvent utilisé dans les parkings avec des portées allant jusqu'à 5,5 m.

Le système Cofradal 200 utilise un bac en acier muni de laine minérale de haute densité sur lequel du béton est coulé sur chantier. L'épaisseur du plancher est de 200 mm et sa portée peut aller jusqu'à 6 m dans les bâtiments résidentiels (voir Chapitre 8).

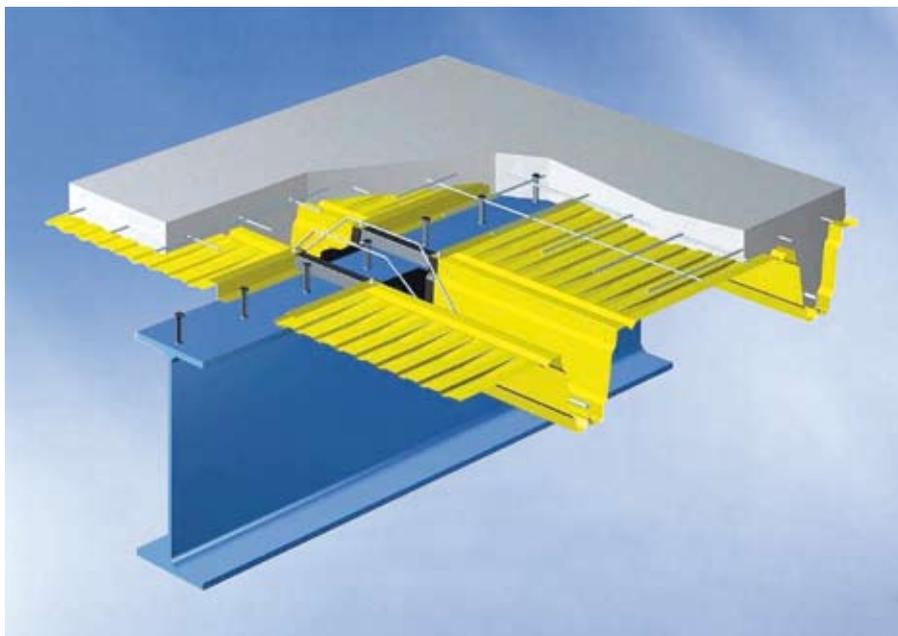


Figure 3.8 Illustration du système de plancher Hoesch Additif porté par des poutres en acier

Considérations importantes pour le dimensionnement

Les dalles mixtes à forte épaisseur peuvent couvrir de longues portées et le point le plus important pour leur dimensionnement est la capacité des tôles profilées à supporter les charges pendant la phase de chantier sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un étayage provisoire. Les portées non étayées habituelles sont les suivantes :

- Tôles de 225 mm de hauteur – portée de 6 m pour une épaisseur finie de dalle de 300 mm ;
- Tôles de 190 mm de hauteur – portée de 5,4 m pour une épaisseur finie de dalle de 270 mm.

Une armature supplémentaire est nécessaire pour la résistance au feu. Des portées allant jusqu'à 9 m peuvent être réalisées en construction étayée. Pour une performance acceptable en service, des rapports portée/épaisseur de dalle de 25 sont possibles en utilisant une armature appropriée.

Avantages

- Forme de construction rigide et robuste.
- Longues portées (jusqu'à 6 m en construction non étayée).
- Isolation acoustique et résistance au feu satisfaisantes.
- Plancher peu épais lorsqu'il est combiné avec un plancher mince ou des poutres intégrées.
- Liberté d'agencement de l'espace intérieur.

Résistance au feu

Pour la résistance au feu, les exigences minimales suivantes peuvent être utilisées dans un schéma de dimensionnement de dalles mixtes de forte épaisseur munies d'armatures dans les nervures des tôles :

Résistance au feu (min)	Épaisseur de béton minimum sur les tôles profilées	Armature minimum par nervure	Armature minimum dans la dalle
30	60 mm	Ø 12 mm	A142
60	70 mm	Ø 16 mm	A193
90	90 mm	Ø 20 mm	A252

A193 = armature de 193 mm²/m dans les deux sens

Tableau 3.3 Exigences de résistance au feu pour des dalles mixtes de forte épaisseur

Isolation acoustique

Les dalles mixtes de forte épaisseur permettent d'obtenir d'excellentes atténuations acoustiques de plus de 60 dB. Il est nécessaire de prévoir des détails constructifs particuliers au niveau des liaisons entre les planchers et les murs.

Épaisseur hors tout de plancher

L'épaisseur hors tout d'un plancher est habituellement de 400 à 500 mm avec les couches d'isolation acoustique et un plafond suspendu. L'utilisation de poutres de plancher intégrées ou de faible épaisseur permet le positionnement des murs intérieurs n'importe où sur la dalle sans être gêné par les retombées de poutres.

04 Systèmes de Murs

Ce chapitre décrit les diverses formes de murs extérieurs et intérieurs faisant appel à une ossature en éléments minces. La description des caractéristiques de chaque système de mur est accompagnée d'un guide sur les aspects importants du dimensionnement. La performance thermique des systèmes d'habillage est traitée dans le Chapitre 7.

Les murs peuvent être conçus avec des ossatures en éléments minces, partie d'une ossature porteuse ou comme éléments non porteurs dans une ossature principale en acier. Il existe trois formes génériques de parois à ossature en élément minces :

- Murs porteurs ;
- Murs de remplissage portant la façade ;
- Murs de séparation et cloisons.

Les murs porteurs en éléments minces en acier peuvent être utilisés pour supporter des planchers en éléments minces en acier au moyen de solives en profil C ou de cassettes de plancher.

Une autre solution consiste à utiliser des dalles mixtes appuyées sur un profil C périphérique. Des murs porteurs en éléments minces en acier ont été utilisés dans des bâtiments comportant jusqu'à 8 niveaux.

Les murs de remplissage sont utilisés avec une ossature principale en acier ou en béton et sont conçus pour supporter l'habillage et résister aux charges de vent. Ils peuvent être préfabriqués ou montés individuellement à partir de profils C. Cette même technologie peut être utilisée pour les murs de séparation intérieurs.

Ossature porteuse par éléments minces en acier

Murs de remplissage extérieurs

Murs de séparation et cloisons



Figure 4.1 Installation d'une paroi de remplissage en éléments minces dans une ossature en acier
Kingspan Architectural

Ossature porteuse par éléments minces en acier



Figure 4.2 Construction en plateforme d'un mur contreventé en éléments minces dans un logement
Fusion Building Systems

Description

Les murs porteurs à ossature en éléments minces en acier utilisent des profilés C de 70 à 150 mm de hauteur avec des épaisseurs d'acier de 1,6 à 2,4 mm. Ils sont fabriqués en panneaux muraux bidimensionnels. La forme la plus courante de construction est connue sous le nom de construction en "plateforme". A la mise en œuvre, les murs sont posés sur les planchers servant de plateforme de travail. L'utilisation des panneaux de murs contreventés est illustrée dans la Figure 4.2. Les forces sont transmises directement par les murs et les planchers habituellement portés par un profilé en Z positionné sur le mur inférieur.

Les montants des murs (profilés C verticaux) sont espacés de 300, 400 ou 600 mm pour s'aligner avec les largeurs courantes des plaques de plâtre de 1,2 ou 2,4 m. En général, on utilise la même épaisseur de profilé C dans un panneau mural, bien que l'on puisse utiliser d'autres profilés C à proximité des grandes ouvertures ou autres zones fortement chargées. Il est préférable d'utiliser des murs de séparation à double ossature, mais dans certains cas, une ossature simple est possible si les équipements techniques ne traversent pas le mur.

Les murs porteurs en éléments minces en acier sont habituellement de l'un des trois types suivants :

- Murs à double ossature comprenant une isolation en laine minérale ou en laine de verre placée entre les profilés C et une à deux plaques de plâtre pour composer les parements ;
- Murs à double ossature, comme ci-dessus, mais comprenant un panneau isolant rigide placé entre les montants ;
- Murs à simple ossature comprenant des profilés C d'une hauteur minimum de 72 mm et de la laine minérale entre les profilés C et une à deux plaques de plâtre pour composer les parements (des "bandes résilientes" peuvent être ajoutées sur la face extérieure du profilé C).

Ces formes de construction sont illustrées dans la Figure 4.3. Les parois à double ossature sont surtout utilisées pour les murs de séparation. Dans les schémas de conception leur épaisseur totale peut atteindre 300 mm, pour l'inclusion d'un élément de structure. Dans les autres cas, leur épaisseur peut être réduite à 140 mm, avec une ou deux plaques par parement.

Profilé de mur C (Hauteur x largeur x épaisseur)	Hauteur de mur (m)	Résistance des sections transversales		Résistance au flambement (kN)	Résistance réduite due au flambement prenant compte de l'excentricité (kN)
		Résistance à la flexion (kNm)	Résistance à la compression - sans flambement (kN)		
70 x 45 x 1,2	2,5	1,4	58	32	18
70 x 45 x 1,2	3,0			24	15
100 x 45 x 1,6	2,5	3,1	89	53	29
100 x 45 x 1,6	3,0			40	24

Note : Les résistances réduites au flambement figurant dans ce tableau prennent en compte l'effet de l'excentricité de l'effort normal agissant au niveau de la face du profilé C.

Tableau 4.1 Données constructeur donnant la résistance à la compression de montants de mur porteur utilisant des profilés C

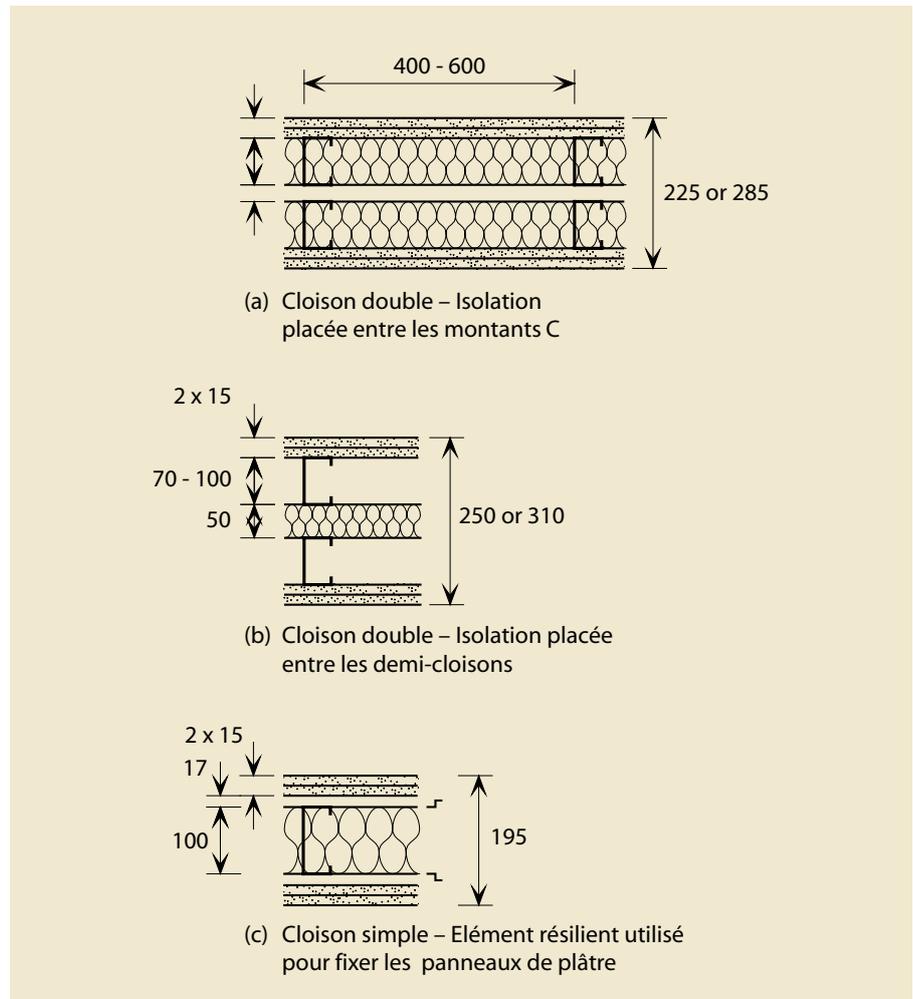


Figure 4.3 Diverses formes de murs porteurs en éléments minces

Résistance au feu

La durée de résistance au feu des murs porteurs dépend de la protection assurée par les plaques de plâtre. Pour concevoir la stratégie de protection incendie, la température critique des montants de murs porteurs peut être prise égale à 400°C. En général, les détails constructifs nécessaires pour une isolation acoustique satisfaisante assurent une résistance au feu d'au moins 60 minutes.

Considérations importantes relatives au dimensionnement

Les murs porteurs à ossatures légères en acier sont conçus pour supporter la combinaison de compression et de flexion provoquée par les charges excentriques transmises par les planchers. Pour les applications à plusieurs niveaux, des profilés C de 100 mm de hauteur x 1,6 mm d'épaisseur sont en général suffisants lorsqu'ils sont espacés de 300 à 600 mm, mais pour les habitations à 2 niveaux, on peut utiliser des profilés C plus petits, de 70 x 1,2 mm.

La résistance à la compression des murs comportant des profilés C dépend de leur résistance au flambement, modifiée pour prendre en compte l'excentricité de l'effort normal et l'effet stabilisant des plaques qui sont fixées sur eux. Pour la plupart des profilés C, la résistance à la compression est gouvernée par le flambement selon l'axe de forte inertie ; le flambement selon l'axe de faible inertie est empêché par une entretoise située à mi-hauteur ou par les fixations des plaques de parement. Le Tableau 4.1 contient des données relatives à la résistance à la compression des montants en C. Lorsque les forces verticales sont appliquées sur le mur avec une excentricité (par exemple pour les planchers appuyés sur un profilé Z placé sur les panneaux muraux), un coefficient réducteur est appliqué dans le Tableau 4.1 pour prendre en compte la combinaison de flexion et de compression.

Afin de résister aux forces horizontales, les murs peuvent être contreventés par diverses méthodes :

- Entretoises intégrées en K ou en W utilisant des profilés C agissant en traction ou en compression ;
- Contreventement en X extérieur utilisant des bandes plates en acier agissant en traction ;
- Action de diaphragme des panneaux de mur.

En général, un contreventement en X est plus efficace pour les bâtiments de grande hauteur. Un panneau de mur de 2,4 m² muni d'un contreventement en X peut supporter des efforts tranchants allant jusqu'à 20 kN.

Diverses formes de bardage peuvent être fixés à travers l'isolation extérieure, de façon à créer une "ossature chaude", comme illustré dans le Chapitre 7. Des structures de combles aménageables peuvent être réalisées en utilisant des adaptations de cette technologie.

Avantages

- Les panneaux muraux peuvent être fabriqués pour s'adapter à des dimensions de murs et de charges quelconques.
- De grandes ouvertures peuvent être réalisées pour les fenêtres.
- Les panneaux muraux de faibles dimensions (habituellement 2,4 m²) peuvent être manipulés manuellement.
- Les panneaux muraux de grandes dimensions peuvent être manipulés mécaniquement, en réduisant ainsi le temps d'installation.
- Le contreventement peut être installé pendant la fabrication des murs.
- Construction légère sans gaspillage de matériaux.

Isolation acoustique

Une bonne isolation aux bruits aériens des murs en éléments minces est obtenue grâce aux détails constructifs illustrés dans la Figure 4.3.

Murs de remplissage extérieurs appliqués sur des ossatures structurales



Figure 4.4 Murs de remplissage en éléments minces construits dans une ossature mixte en acier

Description

Les éléments de remplissage non porteurs constituent un support pour l'enveloppe extérieure. Ils sont conçus pour résister aux charges de vent et pour supporter le poids propre de l'habillage. Les murs de remplissage sont de deux types principaux :

- Profilés C installés de manière individuelle sur chantier. Ils sont positionnés sur deux rails (inférieur et supérieur), l'un fixé devant ou sur la dalle et l'autre placé à la sous-face de la poutre ou de la dalle ;
- Panneaux muraux préfabriqués de hauteur d'étage fixés extérieurement sur l'ossature et reliés aux poteaux et aux planchers, comme dans la Figure 4.1.

La Figure 4.4 montre un exemple de parois de remplissage en éléments minces utilisés pour les ossatures principales en acier. Ces parois peuvent également comprendre des profilés C perforés ou rainurés, comme ceux décrits dans le Chapitre 7, pour réaliser une meilleure isolation thermique.

Certaines dispositions permettant le mouvement relatif entre le mur et l'ossature principale sont prises à la partie supérieure du mur de remplissage, selon que la structure est en acier ou en béton. Ainsi, les ouvrages lourds (briques ou béton) sont en général appuyés directement sur le sol, ou portés par des cornières en acier fixées sur l'ossature principale. Les éléments de façades légères sont habituellement fixés sur le mur de remplissage qui les supporte.

Considérations importantes relatives au dimensionnement

Les murs de remplissage sont dimensionnés principalement pour les charges de vent et certaines charges verticales additionnelles dues au poids propre de l'ossature et de son habillage. De grands panneaux préfabriqués peuvent être dimensionnés pour être disposés horizontalement entre les poteaux, ou verticalement entre les planchers, comme le montre la Figure 4.4. Les pressions de vent sont déterminées conformément à l'EN 1991-1-4, en fonction de l'emplacement du bâtiment, de sa hauteur et de son orientation. Les panneaux situés au sud ou à l'ouest et dans les angles des bâtiments sont les panneaux les plus critiques pour le dimensionnement.

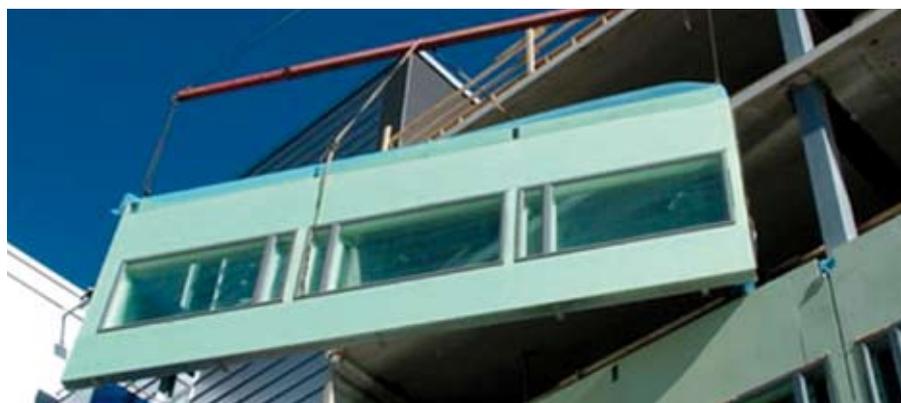


Figure 4.5 Panneau mural préfabriqué avec habillage et fenêtres - Ruukki

<p>Considérations importantes relatives au dimensionnement (suite)</p>	<p>Les dispositions prises pour le mouvement relatif dépendent du type d'appui, mais les mouvements minimum suivants sont considérés comme raisonnables pour des poutres d'une portée maximum de 5 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 mm – pour les bâtiments à ossature en acier ou les bâtiments en béton existants ; • 20 mm – pour les bâtiments en béton neufs. <p>La partie supérieure du panneau est habituellement fixée par des équerres tous les 600 mm au maximum sur la face intérieure du panneau. Chaque équerre est conçue pour résister aux forces de dépression du vent et permettre les mouvements relatifs verticaux.</p>
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Système de construction rapide à mettre en œuvre sur des ossatures principales, en acier ou en béton. • Construction légère, consommation minimale de matériaux et aucun déchet sur chantier. • Possibilité de réaliser des ouvertures de grandes dimensions. • Panneaux muraux pouvant être préfabriqués et montés sur chantier. • Habillage pouvant être fixé au préalable dans les systèmes de murs préfabriqués.
<p>Résistance au feu</p>	<p>La résistance au feu d'un mur extérieur doit empêcher tout passage de fumée et de flammes d'un étage à l'autre. C'est la règle du « C+D » et la masse combustible des constituants des parois qui importe ici. Normalement, le doublage réalisé au moyen d'une ou deux plaques de plâtre, spéciales ou standard, permet d'obtenir un degré coupe-feu équivalent à celui d'une cloison séparative. Au niveau des poutres de rive, il est nécessaire de prévoir des détails constructifs particuliers pour garantir la continuité de la protection.</p>
<p>Isolation acoustique</p>	<p>Les exigences relatives à l'isolation acoustique des murs extérieurs dépendent de l'environnement de la construction (voies classées, aéroport,...). En général, une atténuation acoustique d'au moins 30 dB est obtenue avec des parois extérieures formées d'un bardage léger.</p>
<p>Épaisseur hors-tout des murs</p>	<p>L'épaisseur hors-tout des murs extérieurs dépend du degré d'isolation thermique et du type d'habillage exigé. Un guide est proposé dans le Chapitre 7.</p> <p>Les ouvrages en maçonnerie sont souvent appuyés sur le sol, éventuellement portés par l'ossature.</p>

Murs de séparation et cloisons



Figure 4.6 Plaques de plâtre en cours de fixation sur un mur de séparation au niveau d'un contreventement en X

Description

Les parois de séparation sont des cloisons intérieures nécessaires pour assurer une fonction de compartimentage face au risque incendie et pour obtenir une isolation acoustique entre les parties distinctes d'un bâtiment ou entre les logements. Ces séparatifs peuvent en outre assurer une fonction porteuse, tels que décrit plus haut, ou bien être des murs non porteurs positionnés le long de l'ossature principale.

Les cloisons désignent des parois non porteuses, à l'intérieur d'un même logement. Elles ne jouent aucun rôle dans la protection incendie et n'ont que peu de fonctions d'isolation acoustique. Les cloisons peuvent être retirées sans conséquences sur la fonction du bâtiment.

Les profilés C en éléments minces en acier utilisés pour les parois de séparation et les cloisons ont une largeur de 48 à 100 mm et une épaisseur d'acier de 0,55 à 1,5 mm, en fonction de leur hauteur et de leur chargement.

En général, les parois de séparation sont de deux types, tels qu'illustré dans la Figure 4.3 :

- Cloisons à ossature double, comportant une à deux plaques de plâtre par face, avec un complément de laine minérale ;
- Cloison à simple ossature, comportant une (parfois deux) plaque de plâtre par face et fixée sur la face extérieure des parois des profilés C.

Il convient également de prendre des dispositions concernant le mouvement relatif à la partie supérieure du mur situé dans une ossature principale en acier ou en béton.

Considérations importantes relatives au dimensionnement	Les parois à simple ou double ossature assurent les niveaux de performance acoustique grâce à un nombre de plaques de plaques adapté. La Figure 4.6 montre l'installation d'une cloison au niveau de l'emplacement d'un contreventement. Une ossature double réduit le risque de transmissions acoustiques qui pourraient se produire par les ouvertures d'équipements techniques.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • La construction de parois de séparation légères est rapide. • Excellente atténuation des bruits aériens. • Tous les murs en éléments minces non porteurs sont repositionnables. • Consommation minimale de matériaux avec un minimum de déchets sur le chantier. • Poids propre inférieur à 0,5 kN/m².
Résistance au feu	En général les parois non porteuses qui satisfont les exigences relatives aux performances acoustiques assurent aussi une résistance au feu comprise entre 30 et 60 minutes, selon la nature des plaques de plâtre.
Isolation acoustique	Les parois de séparation formées de parement double sur chaque face permettent habituellement d'atteindre un indice d'affaiblissement acoustique de 45 dB face aux bruits aériens (52 dB sans tenir compte du coefficient de correction des basses fréquences $C_{v,r}$). La Figure 4.3 montre des détails constructifs appropriés pour ces parois.
Épaisseur hors tout des murs	<p>Pour le schéma de conception les épaisseurs habituelles des parois séparation et des cloisons peuvent être prises égales à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parois de séparation à ossature double : de 140 mm à 300 mm ; • Paroi de séparation à simple ossature : de 70 à 100 mm ; • Cloisons : de 80 à 100 mm.

Ossatures Principales

05 en Acier

Ce chapitre décrit les diverses formes de composants structuraux en acier pouvant être utilisés dans les bâtiments résidentiels à plusieurs étages. On trouvera une description des caractéristiques des éléments principaux en acier et de leur combinaison avec les systèmes de planchers et de murs présentés plus haut.

Pour les bâtiments résidentiels à plusieurs étages exigeant des plateaux libres, une ossature principale en acier constitue l'option préférentielle. Différents systèmes de construction métallique sont étudiés dans cette publication :

- Ossature en acier avec dalles préfabriquées en béton ;
- Ossature mixte en acier et dalle mixte ;
- Construction à poutres intégrées ou plancher mince ;
- Poutres inversées en acier, telles que le système *Slimline*.

Les poutres de l'ossature porteuse en acier sont habituellement disposées au droit des séparatifs. Dans le cas de

poutres intégrées, les murs intérieurs peuvent être positionnés n'importe où sur le plan, ils ne sont pas affectés par la hauteur des retombées de poutres (Figure 5.1). Les poutres intégrées peuvent être utilisées avec divers systèmes de planchers, y compris les dalles mixtes de forte épaisseur, les éléments préfabriqués en béton et les solives de plancher en élément minces acier.

Pour les poteaux, on utilise des profilés HE ou des Tubes Carrés (SHS) habituellement conçus pour s'intégrer dans l'épaisseur d'un mur de séparation.

Ossatures en acier et dalles préfabriquées en béton

Ossature mixte en acier avec dalles mixtes

Construction à poutres intégrées ou plancher mince

Poutres inversées en acier



Figure 5.1 Ossature en acier utilisant des profilés asymétrique ASB et des tôles à profils de grande hauteur en cours d'installation

Ossatures en acier et dalles préfabriquées en béton

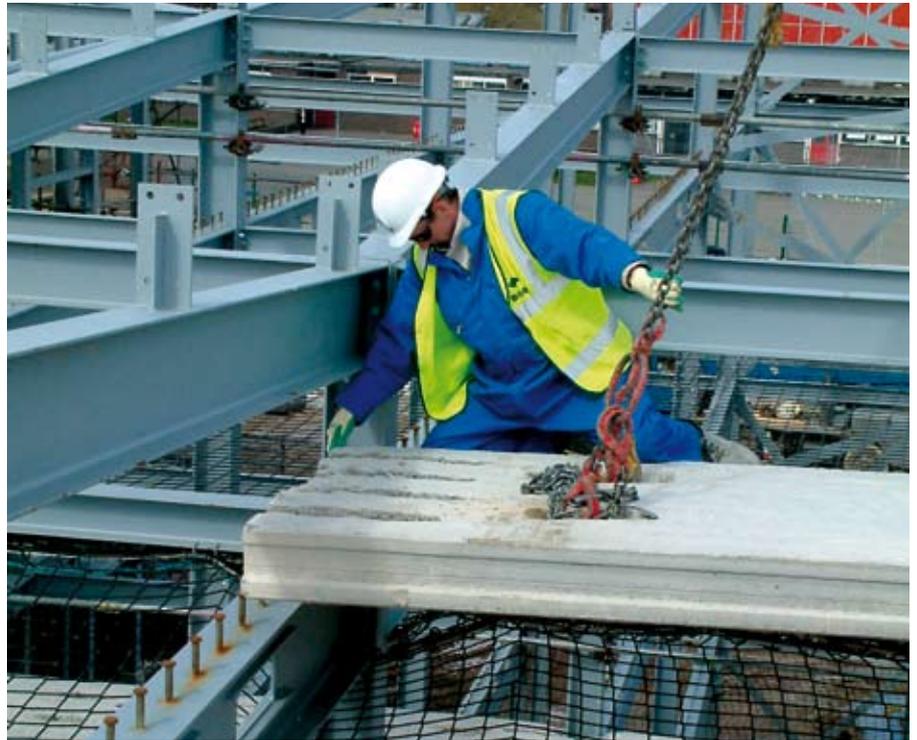


Figure 5.2 Utilisation de dalles préfabriquées en béton positionnées sur des poutres en acier

Description

Les dalles préfabriquées de plancher en béton sont le plus souvent appuyées sur la semelle supérieure des poutres en acier. Dans certains cas, elles peuvent être conçues pour collaborer avec les poutres en acier au moyen de connecteurs de cisaillement pré-soudés sur la semelle supérieure, comme indiqué dans la Figure 5.2. Afin d'obtenir une largeur d'appui minimum convenable (50 mm mini), la largeur de la semelle supérieure doit être d'au moins 110 mm, ce qui nécessite d'utiliser des profilés IPE ou HE plus hauts.

Les dalles préfabriquées en béton peuvent être de deux types lorsqu'elles sont utilisées avec des poutres en retombée :

- Dalles pleines minces (50–100 mm d'épaisseur) supportant une chape en béton coulée sur chantier et conçues en général pour collaborer avec les poutres en acier. Leurs portées vont de 2,5 à 5 m ;
- Dalles alvéolaires (150–250 mm d'épaisseur), généralement non mixtes, mais pouvant être conçues comme mixtes avec une chape mince en béton. Leurs portées vont de 5 à 9 m.

Les dalles préfabriquées en béton peuvent également être utilisées avec des poutres intégrées, comme décrit plus loin.

Considérations importantes relatives au dimensionnement	<p>Pour les poutres supportant des dalles préfabriquées en béton, le principal aspect relatif au dimensionnement est la question de la largeur minimale de poutre prenant en compte les tolérances de construction et, en cas de conception mixte, ménageant un espace suffisant autour des connecteurs afin de permettre l'action mixte. Pour cette raison, les dalles préfabriquées sont utilisées en général dans les applications de longues portées faisant appel à des poutres plus hautes et plus larges.</p> <p>Il est possible de prévoir une chape en béton (60 mm minimum) complémentaire pour l'isolation acoustique dans les bâtiments résidentiels. Cette chape contribue également à satisfaire les exigences relatives à la résistance au feu et à la "robustesse" grâce au treillis d'armature de la chape.</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Poutres et dalles de longue portée. • Procédé de construction essentiellement préfabriqué. • Bonne isolation acoustique. • Les retombées peuvent coïncider avec les murs de séparation.
Résistance au feu	<p>Les dalles préfabriquées en béton peuvent présenter un degré coupe-feu de 90 minutes maximum sans chape en béton ou de 120 minutes maximum avec une chape en béton et des armatures noyées dans les âmes creuses et remplies de béton.</p> <p>La protection contre le feu des poutres en acier peut être réalisée par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une protection par écrans rapportés (plaques de plâtre) ; • Un produit de protection projeté ; • Des peintures et revêtements intumescents.
Isolation acoustique	<p>Les dalles préfabriquées en béton comportant une chape complémentaire en béton assurent une excellente atténuation des bruits aériens.</p>
Charges et flèches	<p>Les poutres en acier supportant des dalles préfabriquées en béton sont relativement hautes et peuvent être conçues pour un rapport portée/épaisseur d'environ 18. Les flèches se situent dans les limites normales de 1/350ème de la portée sous charges imposées.</p> <p>Pour les tracés de pré-projet, il convient d'utiliser les hauteurs hors tout de poutres en acier données dans le Tableau 5.1 ; le plancher en partie courante est alors d'une épaisseur beaucoup plus réduite.</p>

Portée de poutre (m)	Portée de dalle (m)	Épaisseur hors tout de plancher (mm)
6	6	600
8	6	700
8	8	800
10	6	800

Tableau 5.1 *Épaisseurs hors tout de plancher pour les poutres en acier supportant des dalles alvéolaires*

Ossature mixte en acier avec dalles mixtes



Figure 5.3 Tôles profilées mixtes et poutres cellulaires mixtes

Description

Les dalles mixtes sont appuyées sur la semelle supérieure des poutres en acier et sont conçues pour collaborer avec les poutres au moyen de connecteurs de cisaillement. Ils sont en général soudés sur chantier, sur la semelle supérieure de la poutre, au travers des tôles profilées. Les poutres mixtes sont largement utilisées dans tous les secteurs de la construction et notamment dans les bâtiments résidentiels. Dans ce cas, leurs portées sont relativement courtes (5 à 9 m). L'action mixte augmente grandement la résistance à la flexion et la rigidité des poutres.

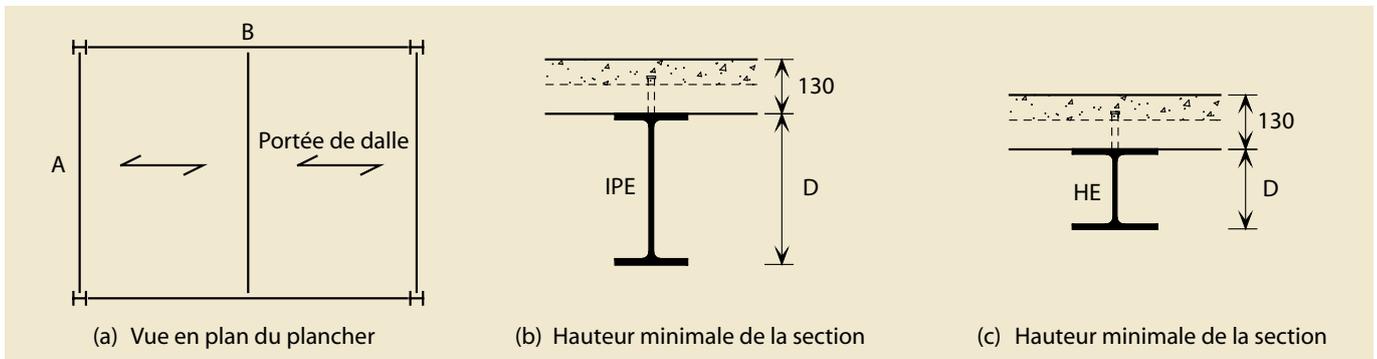
Les portées des dalles dépendent de la hauteur du profil des tôles et du fait que la dalle soit étayée ou non en phase de chantier. Les portées habituelles vont de 3 m pour des hauteurs de profils de 50 à 60 mm et jusque 4 à 4,5 m pour des hauteurs de profils de 80 à 100 mm (voir Chapitre 3).

Considérations importantes relatives au dimensionnement

En construction mixte, le principal critère consiste à réduire l'épaisseur du plancher sans compromettre sa rigidité. Pour cette raison, dans les bâtiments résidentiels on utilise souvent des profilés HE de faible hauteur pour réaliser des travées de 5 à 9 m. Les poutres sont intégrées dans l'épaisseur des parois séparatives ou éventuellement positionnées dans un plafond suspendu.

En général, les dalles et les poutres sont conçues pour ne pas être étayées en phase de chantier, ce qui signifie que le profil des tôles doit être soigneusement choisi ; voir Tableau 3.2. Les poutres mixtes peuvent comporter des ouvertures pour passer des équipements techniques, comme pour les poutres cellulaires, voir Figure 5.3. Les poutres mixtes de longue portée peuvent être conçues comme un "podium" pouvant ensuite porter une ossature acier en éléments minces.

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Plancher rigide, relativement mince. • Des profilés HE/UC peuvent être utilisés comme poutres afin de limiter l'épaisseur de plancher. • Bonne isolation acoustique. • Les poutres peuvent être intégrées dans l'épaisseur des murs afin de limiter l'épaisseur de plancher. • Les poutres mixtes de longue portée peuvent être conçues comme ossatures podium au-dessus des parkings.
Résistance au feu	<p>Les dalles mixtes assurent une résistance au feu allant jusqu'à 120 minutes avec seulement un treillis d'armature, à condition qu'elles soient posées en continuité sur une ou plusieurs travées intermédiaires. Des armatures supplémentaires peuvent être placées dans les nervures des tôles dans les zones fortement chargées (par exemple les locaux techniques). La protection des poutres contre le feu peut être réalisée en prenant des mesures identiques à celles prises pour les dalles préfabriquées en béton.</p>
Isolation acoustique	<p>Les dalles mixtes assurent une excellente isolation acoustique à condition d'utiliser un revêtement de sol résilient approprié. Le point clé est l'interface entre les murs de séparation et les poutres en acier où l'espace entre les nervures des tôles doit être rempli de laine minérale afin d'éviter les transmissions acoustiques au-dessus du mur et au travers des dalles.</p>
Tableaux charges-portées	<p>Les poutres mixtes supportant des dalles mixtes ont une épaisseur relativement faible et peuvent être conçues pour un rapport portée/épaisseur d'environ 24. Les poutres mixtes sont très rigides et participent à limiter les vibrations des planchers. Le point critique est le contrôle des flèches totales, qui sont limitées à un maximum de 1/200ème de la portée. La flèche des poutres en acier est provoquée par le poids du béton frais en phase de chantier. Les valeurs charges-portées données dans le Tableau 5.2 peuvent être utilisées pour les poutres mixtes utilisées avec une dalle mixte de 130 mm d'épaisseur et des profils de tôles de 60 mm (sauf dans les cas indiqués par un *).</p>



Portée de poutre principale (B)	Portée de poutre secondaire (A)			
	6 m	8 m	10 m	12 m
5 m	IPE 240	IPE 300	IPE 360	IPE 450
6 m	IPE 240	IPE 330	IPE 400	IPE 450
7 m	IPE 270	IPE 330	IPE 400	IPE 500
8 m*	IPE 300	IPE 360	IPE 450	IPE 550

*nécessite l'utilisation de tôles profilées de 80 mm de haut et d'une dalle de 150 mm d'épaisseur

(a) Dimensions des poutres secondaires

Portée de poutre principale (B)	Portée de poutre secondaire (A)			
	6 m	8 m	10 m	12 m
5 m	IPE 270	IPE 300	IPE 330	IPE 400
6 m	IPE 270	IPE 300	IPE 360	IPE 450
7 m	IPE 300	IPE 330	IPE 400	IPE 500
8 m*	IPE 300	IPE 360	IPE 450	IPE 550

(b) Dimensions des poutres principales

Tableau 5.2 Tableaux de calcul pour les poutres mixtes

Construction à poutres intégrées ou plancher mince

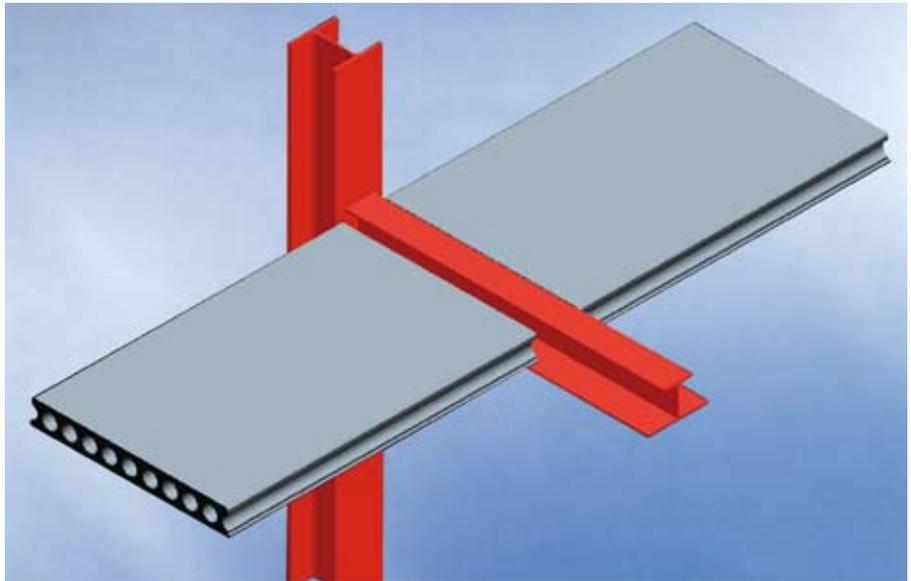


Figure 5.4 Poutres intégrées de plancher supportant des dalles préfabriquées en béton

Description

Les poutres intégrées (également connues sous le nom de poutres de planchers minces) supportent une dalle préfabriquée en béton ou une dalle mixte de forte épaisseur, coulée en place. L'objectif est que la poutre soit « absorbée » dans l'épaisseur de la dalle. Ces profilés peuvent être de diverses formes :

- Profilés HE ou UC avec plaque inférieure soudée ;
- Profilés IPE coupés à mi-hauteur et soudés sur une plaque de semelle inférieure ;
- Poutres ASB laminées à section transversale asymétrique ;
- Tubes rectangulaires RHS avec plaque inférieure soudée, souvent utilisés pour les poutres de rive.

Lorsque des poutres intégrées supportent des dalles alvéolaires en béton, comme illustré dans la Figure 5.4, les dalles ont souvent une portée plus longue que celle des poutres, de sorte que l'épaisseur de la dalle et celle de la poutre soient compatibles. On utilise en général une chape en béton. Les poutres intégrées sont conçues pour obtenir une épaisseur structurale minimale du plancher.

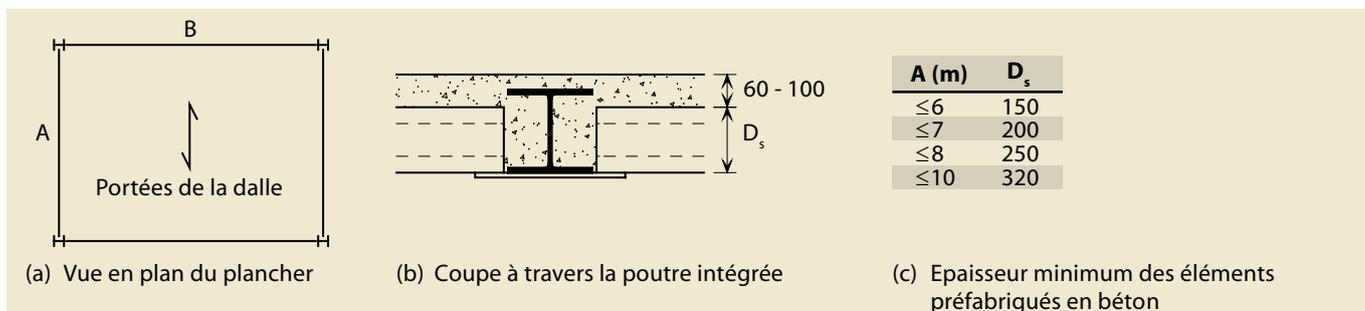
Considérations importantes relatives au dimensionnement

Les poutres intégrées portant des dalles alvéolaires sont dimensionnées de telle sorte que la portée de la dalle soit au maximum de 9 m et celle de la poutre de 6 à 7,5 m. Le cas de calcul critique est celui correspondant à la phase de chantier avec un chargement dissymétrique sur les travées adjacentes inégales et provoquant une torsion de la poutre. La portée des poutres intégrées utilisées avec des dalles mixtes de forte épaisseur peut aller jusqu'à 9 m lorsqu'elles sont espacées de 6 m.

Avantages

- Procédé de construction rapide.
- Aucune limite de hauteur de construction, sous réserve de dimensionner et de positionner des dispositifs de contreventement appropriés.
- Les poutres à longue portée permettent la réalisation de plateaux libres et une liberté dans le positionnement des cloisons intérieures.
- Les poutres intégrées ou les poutres de planchers minces limitent l'épaisseur de plancher.

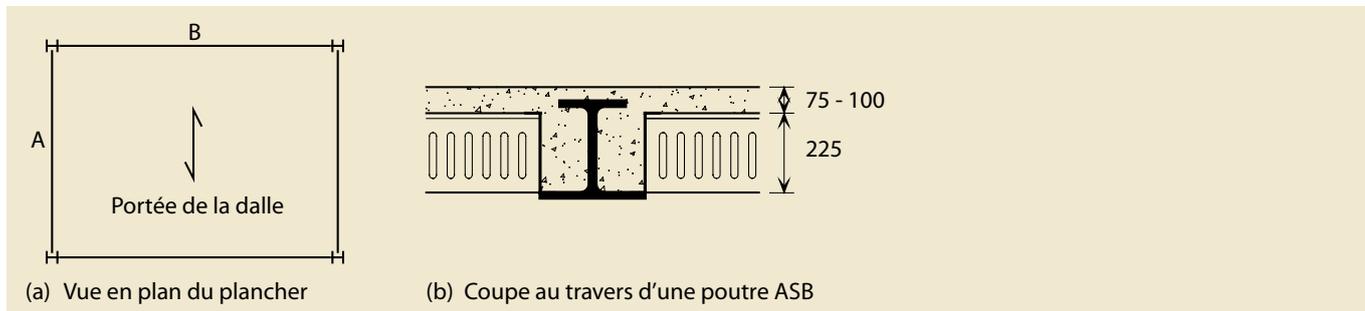
<p>Résistance au feu</p>	<p>Pour les poutres intégrées ou les poutres de planchers minces, l'enrobage partiel du profilé en acier dans du béton permet une résistance au feu de 60 minutes. Une protection supplémentaire contre le feu peut être appliquée sur la semelle inférieure par divers moyens, tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protection par écrans, par exemple par plaques de plâtre ; • Revêtements intumescents appliqués sur site ou en usine. <p>Les plaques constituent le moyen le plus pratique pour les poteaux. Les revêtements intumescents, minces (1 à 2 mm d'épaisseur), permettent de conserver le profil de l'élément visible. Ces revêtements peuvent être appliqués hors chantier.</p>
<p>Isolation acoustique</p>	<p>Les poutres intégrées utilisées avec des dalles alvéolaires et une chape en béton, ou les poutres de planchers minces utilisées avec des dalles mixtes de forte épaisseur assurent une excellente isolation acoustique. En ce qui concerne les détails constructifs, des mesures particulières peuvent être nécessaires tant pour l'isolation acoustique que pour la résistance au feu.</p>
<p>Charges et flèches</p>	<p>Les dimensions de poutres intégrées munies d'une plaque inférieure soudée de 12 mm et supportant des dalles alvéolaires en béton sont données dans le Tableau 5.3. Les dimensions des poutres asymétriques ASB supportant des dalles mixtes de forte épaisseur sont données dans le Tableau 5.4. L'épaisseur hors tout de plancher comprenant les couches d'isolation acoustique est de 350 à 450 mm.</p>



Portée de dalle (A)	Portée de poutre intégrée (B)		
	6 m	8 m	10 m
6 m	HE 220A	HE 280A	HE 300B
7 m	HE 240A	HE 280B	HE 320B
8 m	HE 240B	HE 300B	HE 340B

L'épaisseur de la dalle est définie pour ne pas utiliser des étais

Tableau 5.3 Tableaux de calcul pour les poutres intégrées supportant des dalles préfabriquées en béton



Portée de dalle (A)	Portée de poutre ASB (B)		
	6 m	8 m	10 m
6 m	280 ASB 100	280 ASB 136	300 ASB 196
7 m	280 ASB 100	300 ASB 153	300 ASB 249
8 m	280 ASB 136	300 ASB 153	300 ASB 249

Tableau 5.4 Tableaux de calcul pour les poutres ASB du système Slimdeck supportant des dalles mixtes de forte épaisseur

Poutres inversées en acier



Figure 5.5 Poutres inversées en acier (Slimline) utilisée dans l'immeuble « La Fenêtre »

Description	<p>Le système <i>Slimline</i> utilise des poutres inversées en acier qui comprennent des profilés IPE noyés dans une dalle en béton servant de sous-face du plancher, comme illustré dans la Figure 5.5. L'espace entre les poutres, positionnés tous les 600 mm, peut être utilisé pour porter les équipements techniques au-dessus de la dalle. La face supérieure du plancher est composée de panneaux de plancher ou d'une dalle mixte mince.</p>
Considérations importantes relatives au dimensionnement	<p>Le système <i>Slimline</i> est présenté sous forme de dalles préfabriquées et de poutres inversées en 2,4 m de largeur maximum, appuyées directement sur des poutres principales. Par conséquent, la hauteur combinée des poutres secondaires et principales est cruciale pour l'utilisation du système. Les poutres principales doivent être positionnées avec soin de sorte à être intégrées dans les murs de séparation.</p> <p>Ce système peut permettre de réaliser des portées allant jusqu'à 12 m, en fonction de l'échantillon de poutre choisi. L'épaisseur de la dalle est habituellement de 70 à 100 mm et les équipements techniques ainsi que l'éclairage peuvent être incorporés dans la dalle.</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Système de plancher préfabriqué à longue portée. • Procédé de construction essentiellement à sec. • Dalle en béton formant plafond. • Les équipements techniques peuvent être installés entre les poutres.
Résistance au feu	<p>Le système <i>Slimline</i> assure une excellente résistance au feu en raison de la dalle inversée en béton. Une épaisseur de dalle de 100 mm assure normalement une résistance au feu de 90 minutes. Les poutres peuvent être protégées contre le feu, mais dans de nombreux cas, la réduction de l'exposition directe au feu peut être utilisée pour justifier l'utilisation de poutres non protégées. Les poutres principales doivent normalement être protégées de façon conventionnelle.</p>
Isolation acoustique	<p>Ce système assure une excellente isolation acoustique à condition de réaliser l'étanchéité des joints des dalles préfabriquées.</p>
Charges et flèches	<p>Le rapport portée/hauteur maximum des poutres partiellement enrobées est d'environ 18. La portée optimale de la dalle de plancher est de 8 à 10 m pour une épaisseur hors tout de plancher de 500 à 600 mm, à l'exclusion des poutres principales.</p>

06 Systèmes Modulaires

Ce chapitre contient la description des divers types de construction modulaire faisant appel à des unités tridimensionnelles. Elles peuvent être dimensionnées de façon indépendante, ou faire partie de systèmes de construction métallique “hybrides”, qui sont décrits dans les chapitres suivants.

La construction modulaire utilise des unités tridimensionnelles porteuses, qui permettent de créer des structures autoporteuses d'une hauteur de 8 étages maximum. Les modules sont fabriqués en usine dans des conditions contrôlées. Ce sont des unités répétitives produites dans des longueurs et des largeurs adaptées au transport et à l'installation.

L'utilisation de la construction modulaire est très efficace pour des hôtels, les résidences universitaires et les logements sociaux, comme illustré dans la Figure 6.1. La production en série permet de réaliser des économies d'échelle dans la fabrication.

Il existe trois types de construction modulaire :

- Construction totalement modulaire utilisant des modules porteurs ;
- Modules portés par un système de contreventement ou une ossature en acier indépendante ;
- “Unités/cabines” non porteuses pour les salles de bains, etc.

Les “unités/cabines” ne seront pas décrites car elles sont plus petites et ne participent pas à la structure.

Construction totalement modulaire

Ossatures en acier et construction modulaire



Figure 6.1 *Bâtiment résidentiel modulaire avec balcons intégrés, Londres*
AHMA Architectes & Yorkon

Construction totalement modulaire



Figure 6.2 Module avec murs porteurs
Terrapin

6.1.1 Description

Il existe trois types de construction modulaire :

- Modules où les forces verticales sont transmises par les murs latéraux au module situé dessous – voir Figure 6.2 ;
- Modules comportant des côtés totalement ou partiellement ouverts et où les forces verticales sont portées par des poutres de rive et des poteaux d'angle - voir Figure 6.3 ;
- Modules non porteurs portés par des planchers ou une ossature séparée.

Il existe de nombreuses formes “hybrides” de construction modulaire où les modules sont combinés avec d'autres éléments structuraux, comme :

- Les modules portés par un podium en acier ou en béton qui permet d'utiliser l'espace ouvert situé dessous pour des usages commerciaux ou de parking ;
- Les modules combinés avec un plancher et des panneaux muraux bidimensionnels.

Les modules utilisent des planchers et des murs en éléments minces avec des poteaux d'angles en tubes carrés ou en cornières, similaires à ceux décrits pour les murs et planchers dans le Chapitre 3.

Considérations importantes relatives au dimensionnement

Les points principaux à prendre en compte dans le choix de la construction modulaire sont les suivants :

- Capacité d'utiliser des unités cellulaires répétitives ;
- Exigences relatives au transport et à l'installation ;
- Capacité de créer des plateaux libres en cas de besoin ;
- Hauteur de bâtiment et nécessité d'un plateau libre, en particulier pour le rez-de-chaussée.

Les modules sont fabriqués dans des largeurs de 2,7 à 4,2 m, ce qui représente le maximum pour le transport sur la plupart des réseaux routiers. Les dimensions intérieures peuvent atteindre 3,6 m et sont pratiques pour les applications résidentielles (3,8 m de dimensions extérieures). On peut utiliser des longueurs de module de 12 m maximum, bien que des longueurs de 7,5 à 9 m soient plus pratiques.

Figure 6.3 Module avec poutres de rive et poteaux d'angle Kingspan



Considérations importantes relatives au dimensionnement (suite)

La Figure 6.4 montre le plan d'un bâtiment modulaire typique, où des modules adjacents sont combinés pour créer des pièces plus grandes.

Avantages

- Rapidité de construction (jusqu'à 60% plus rapide que les constructions réalisées entièrement sur chantier).
- Amélioration de la qualité en raison de la fabrication hors chantier.
- Excellente isolation acoustique grâce à l'utilisation de planchers et de murs à double peau.
- Economies d'échelle dans la fabrication d'unités modulaires répétitives.
- Les modules à côtés partiellement ouverts utilisés principalement pour des appartements.

Résistance au feu

Une résistance au feu de 60 minutes est assurée en utilisant pour les murs et le plafond deux épaisseurs de plaques résistant au feu. Il est également nécessaire de prévoir des "pare-feu" entre les modules afin d'empêcher la propagation du feu et des fumées.

Isolation acoustique

On obtient un haut niveau d'isolation acoustique (atténuation phonique de plus de 60 dB) grâce à la double épaisseur des murs et de la combinaison planchers-plafonds.

Charges et flèches

Les points suivants influent sur le dimensionnement des ensembles modulaires :

- Résistance sous charges des montants de murs ;
- Stabilité sous l'action du vent ;
- Robustesse aux actions accidentelles.

Pour les modules à 4 côtés, la stabilité peut être obtenue par l'utilisation d'un contreventement dans les murs, ou par l'action de diaphragme des plaques fixées sur les murs. Pour les modules portés aux les angles, comme indiqué dans la Figure 6.3, le dimensionnement est influencé par la résistance à la compression des poteaux d'angle et les capacités de portée des poutres de rive. Les modules portés aux angles ou les modules à côtés ouverts doivent en général être stabilisés par une ossature séparée. Les modules sont liés entre eux au niveau des angles, de sorte qu'ils agissent ensemble comme une ossature.

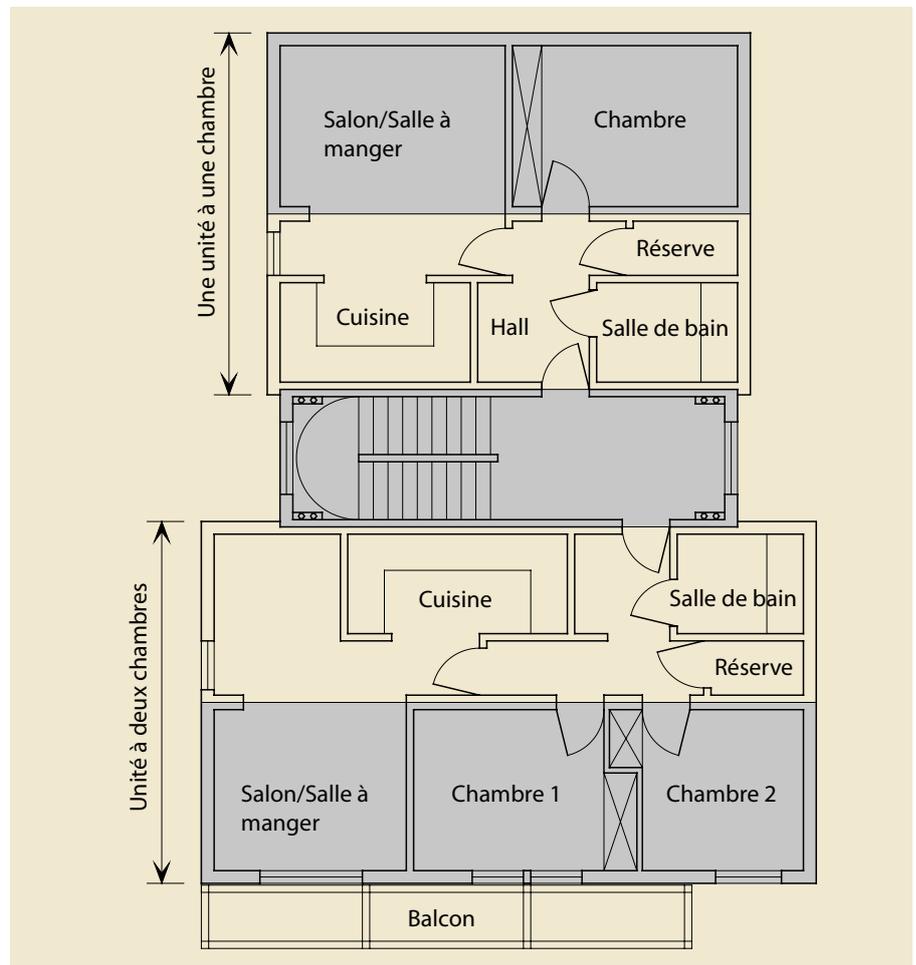


Figure 6.4 Plan d'un bâtiment résidentiel modulaire – les modules sont présentés en alternances grisées

Dimensions hors tout de mur et de plancher

L'épaisseur hors tout totale du plancher est la somme des épaisseurs de plancher et de plafond, et elle peut être prise égale aux valeurs suivantes pour le projet de dimensionnement :

- 400 mm pour les petits modules (< 3,6 m de largeur) ;
- 500 mm pour les grands modules (< 4,2 m de largeur) ;
- 600 mm pour les modules à côtés ouverts avec poutres de rive.

L'épaisseur des murs adjacents des modules peut être prise égale aux valeurs suivantes :

- 250 mm pour les modules de faible hauteur ;
- 300 mm pour les modules à plusieurs étages avec poteaux d'angle.

L'espace entre les modules tient compte des tolérances d'installation. Des balcons peuvent être réalisés dans le module, comme illustré dans la Figure 6.1, ou en fixant des balcons en saillie sur les poteaux d'angle des modules. Des modules d'escaliers peuvent aussi être intégrés dans le concept modulaire, ce qui peut avoir des conséquences sur l'épaisseur hors tout de plancher. Dans ce cas, il est recommandé pour le projet de dimensionnement d'utiliser une épaisseur de plancher et de plafond de 500 mm.

Ossatures en acier et construction modulaire



Figure 6.5 *Bâtiment modulaire appuyé sur un podium et stabilisé par une ossature en acier contreventée autour des escaliers*

Description

De nombreux types de bâtiments nécessitent de grands plateaux libres en rez-de-chausée et, dans ce cas, on peut combiner des unités modulaires avec une ossature principale en acier. Il existe trois types d'utilisation combinée d'ossatures en acier et de modules :

- Modules portés sur un podium en acier. Les emplacements des poteaux du podium sont alignés en multiples des dimensions de modules citées plus haut ;
- Modules à côtés totalement ou partiellement ouverts portés par une ossature en acier à chaque niveau d'étage ;
- Modules stabilisés par un noyau en béton ou en acier contreventé.

Lorsque les modules sont stabilisés par un noyau ou sont appuyés sur un podium, leur dimensionnement est similaire à celui décrit plus haut. Lorsqu'ils sont portés par une ossature en acier séparée, les modules peuvent être dimensionnés comme éléments non porteurs. Les Figure 6.6 montre un exemple de bâtiment avec ossature en podium et la Figure 6.7 le plan d'aménagement de ce bâtiment.

Considérations importantes relatives au dimensionnement

Lorsqu'ils sont portés par une ossature en acier séparée, les modules sont de dimensions similaires à celles des modules non porteurs décrits ci-dessus. Les poutres de l'ossature porteuse sont situées sous les murs porteurs des modules. Pour un parking situé en rez-de-chausée, deux modules de 3,6 m de largeur avec une portée de poutre-support de 7,2 m constituent une solution efficace pour utiliser trois places de stationnement. L'utilisation de poutres cellulaires ou de profilés reconstitués est efficace pour créer un plateau libre au-dessous du podium.

L'utilisation combinée d'unités modulaires et de planchers est avantageuse lorsque des unités modulaires sont utilisés pour les zones où les équipements techniques sont denses, comme les salles de bains et les cuisines.

Avantages

- Pas de limitation de la hauteur de bâtiment.
- Le niveau sous le podium peut être utilisé en plateau libre ou en espace de stationnement.
- Convient pour un usage mixte commercial et résidentiel.



Figure 6.6 Bâtiment modulaire achevé

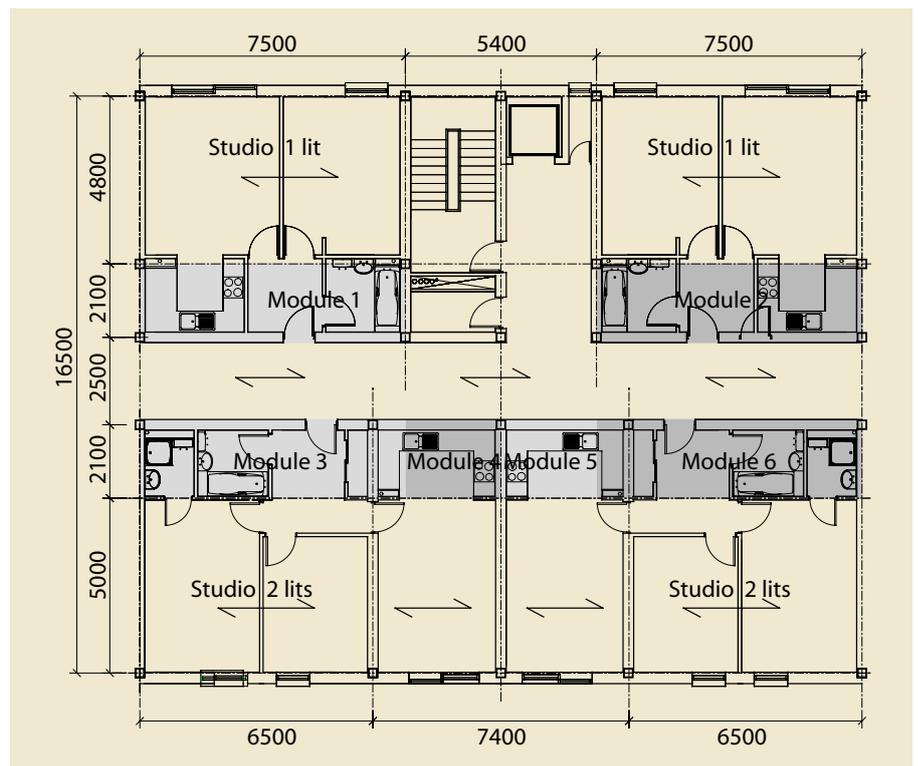


Figure 6.7 Utilisation combinée de modules et d'une ossature en acier

Résistance au feu

L'ossature en acier doit normalement être protégée contre le feu par des moyens traditionnels. L'utilisation de tubes carrés pour les poteaux présente des avantages. Le système de protection préféré est probablement les peintures intumescentes qui permettent de ne pas augmenter l'emprise des profilés en acier.

Isolation acoustique

L'isolation acoustique est indépendante de l'utilisation d'une ossature support en acier lorsqu'on fait appel à la construction modulaire.

Charges et flèches

Les poutres en acier doivent normalement être dimensionnées pour une combinaison de flexion et de torsion lorsqu'elles sont soumises à des charges inégales par les modules adjacents. Les profilés asymétriques en acier peuvent être avantageux.

07 Systèmes de Façades et de Toitures

Ce chapitre contient une étude de divers types d'habillages pouvant être utilisés en combinaison avec des murs en éléments minces. On trouvera une présentation des caractéristiques des systèmes d'habillage, en particulier sur les performances thermiques. Les systèmes de toitures basés sur l'utilisation de composants en acier sont également examinés.

Les systèmes de façades sont portés par des murs extérieurs en éléments minces qui sont eux-mêmes porteurs ou par des murs de remplissage fixés sur l'ossature principale en acier ou en béton. Les mêmes principes et détails constructifs s'appliquent aux deux systèmes. Trois types génériques d'habillage sont étudiés ici :

- Les ouvrages en briques, qui sont habituellement appuyés au sol et fixés latéralement par les murs ;
- Les bardages métalliques ou de type plaques ;
- Les enduits isolants fixés à travers l'isolation sur une plaque-support rigide.

Les principales exigences de calcul concernent l'étanchéité à l'eau, l'isolation thermique et la perméabilité à l'air.

Les toitures peuvent également être conçues en acier, pour les fermes, les pannes, les panneaux mixtes et les tôles de couverture comportant une isolation. Il est possible de créer des systèmes de combles aménageables et habitables.

Systèmes de façades

Systèmes de toitures



Figure 7.1 Bâtiment résidentiel avec ossature en éléments minces en acier et habillage métallique à Glasgow
Peck and Reid Architects & Metsec

Systèmes de façades



Figure 7.2 *Enduit isolant combiné avec des tuiles en terre fixées sur des murs de remplissage en éléments minces*

Description

Il existe deux types de façades appropriées à une utilisation avec les systèmes de murs extérieurs décrits plus haut :

- Enveloppe appuyée au sol ou sur des planchers, comme les ouvrages en briques ;
- Bardage léger porté par le mur en éléments minces en acier.

Dans les bâtiments de plusieurs étages, les ouvrages en briques doivent être portés par des cornières en acier inoxydable fixées sur les poutres périphériques.

Les revêtements légers sont de plusieurs types comme :

- Enduit isolé ;
- Tuiles ou plaquettes de brique fixées sur des lisses horizontales ;
- Bardage métallique, comme les panneaux mixtes ;
- Panneaux de divers types y compris en bois.

Lorsqu'on utilise des panneaux en verre, ils sont souvent intégrés dans le mur lui-même ou sont alors fixés directement au plancher sur une ossature secondaire séparée.

Les panneaux muraux en éléments minces préfabriqués peuvent être conçus avec un habillage fixé au préalable, et dans ce cas, les liaisons constituent un point crucial de conception. Les Figures 4.1 et 4.5 montrent des exemples de panneaux muraux préfabriqués faisant appel à une ossature en éléments minces en acier.

Considérations importantes relatives au dimensionnement

Les principaux aspects du dimensionnement concernant le choix du système de façade sont les suivants :

- Support vertical et latéral de l'habillage ;
- Dispositions concernant le niveau d'isolation thermique exigé et limitation des ponts thermiques ;
- Disposition concernant les ouvertures (portes et fenêtres) et les fixations ;
- Opportunité de préfabriquer les panneaux de façade, avec habillage intégré.

Lorsqu'une ossature en éléments minces en acier est utilisée pour supporter la façade, l'isolation est normalement placée à l'extérieur des éléments minces et est complétée par un supplément de laine minérale fixé entre les montants des murs.

Les ouvrages en briques sont fixés au moyen d'agrafes murales sur des rails verticaux vissés au travers de l'isolation extérieure sur les montants des murs ayant des entraxes nominaux de 600 mm, comme indiqué dans la Figure 7.3. Les agrafes sont fixées tous les cinq rangs (ou à 375 mm verticalement) à raison de 2,5 agrafes par m². Il est nécessaire d'utiliser des agrafes supplémentaires autour des ouvertures. Les ouvrages en briques sont autoporteurs jusqu'à 12 m de haut (4 étages) mais les bâtiments de hauteur supérieure exigent un support vertical supplémentaire à chaque étage ou à un étage sur deux. Ceci n'est possible qu'avec une ossature en acier, mais pas avec une ossature en éléments minces.

Les Figures 7.4 et 7.5 montrent des exemples de détails d'habillages réalisés au moyen de revêtements métalliques et d'enduit isolant. Dans les deux cas, il est recommandé d'utiliser des panneaux permettant l'effet diaphragme.

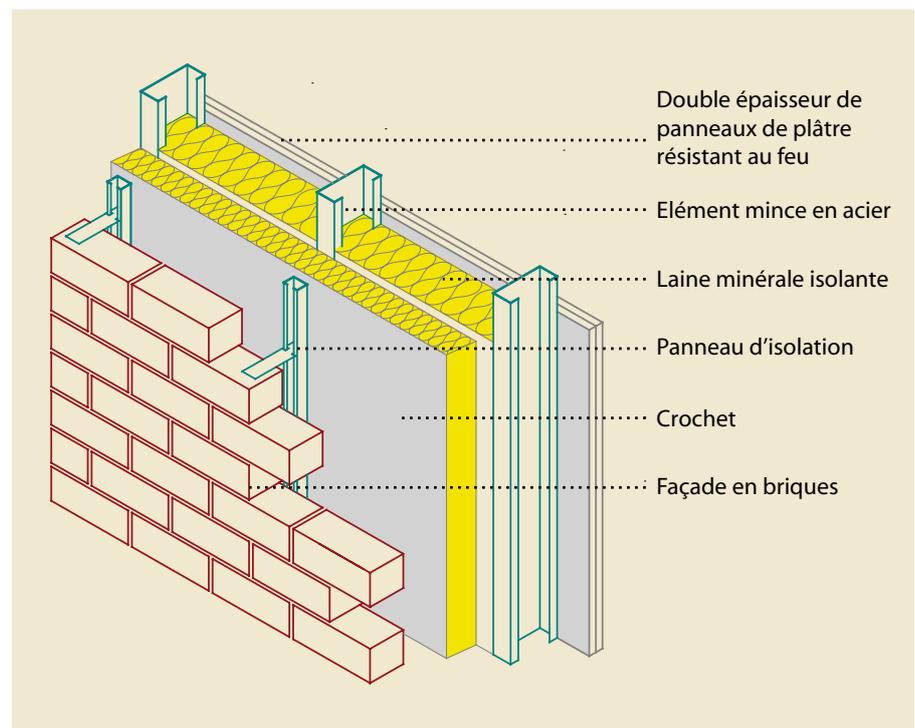


Figure 7.3 Mur extérieur avec habillage en briques fixé sur une ossature en éléments minces

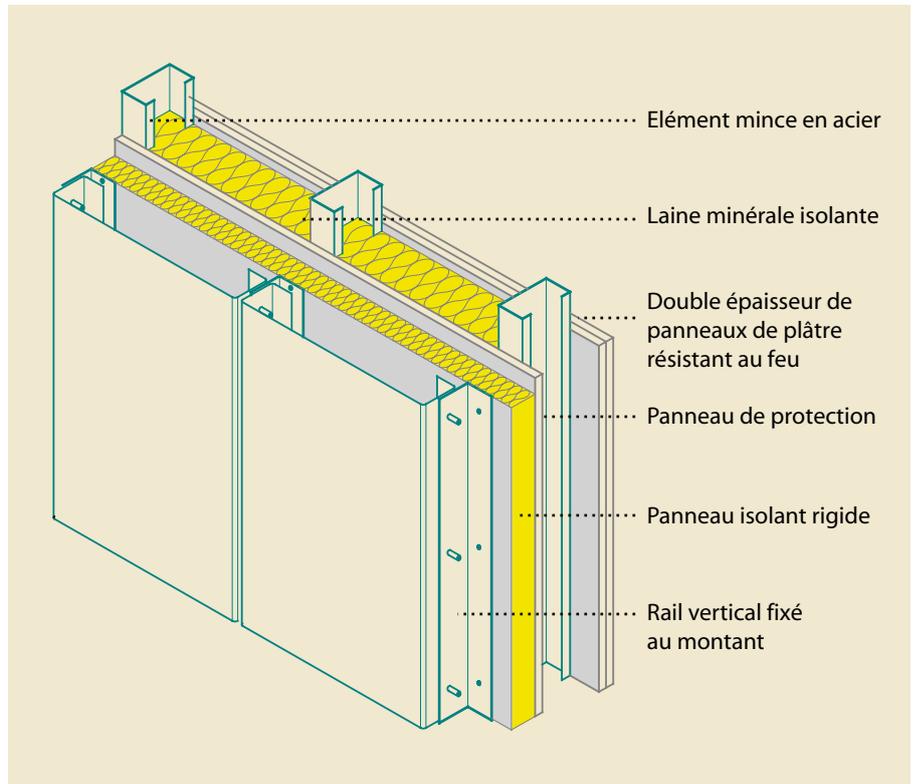


Figure 7.4 Mur extérieur avec habillage métallique fixé sur une ossature en éléments minces

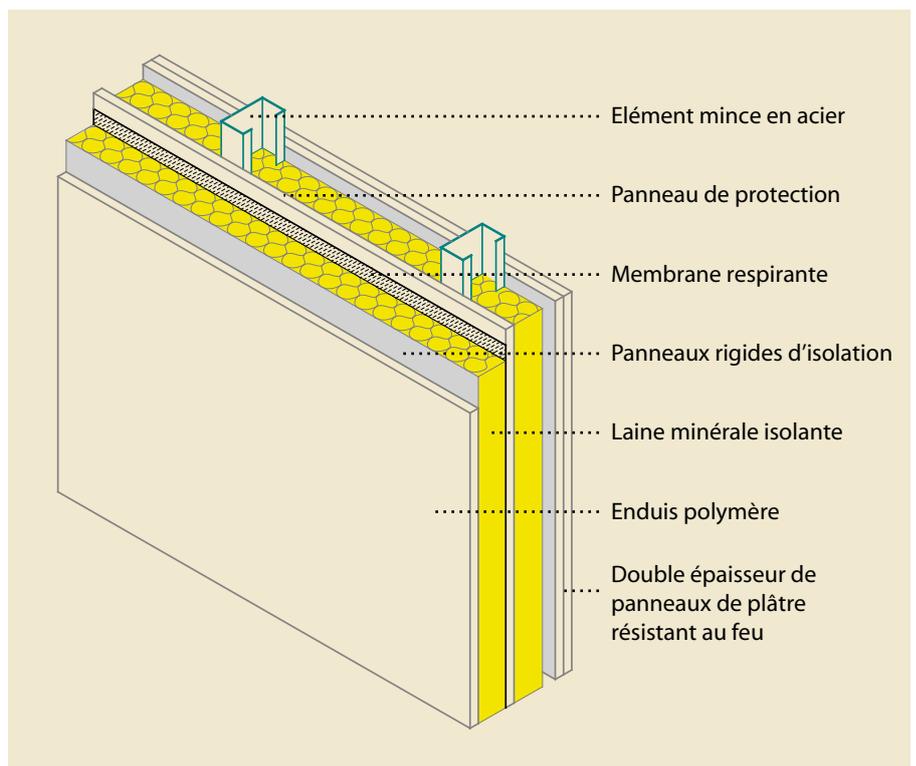


Figure 7.5 Enduit isolant fixé sur une ossature en éléments minces

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité d'utiliser une large variété de matériaux d'habillage. • Les revêtements légers peuvent être portés par les murs en éléments minces. • De grands panneaux peuvent être préfabriqués avec leur habillage intégré. • Possibilité d'obtenir de hauts niveaux d'isolation thermique (faibles valeurs U). • Murs moins épais que dans une construction en blocs ou en béton.
Performance thermique	<p>On peut obtenir des valeurs U inférieures à 0,25 W/m²K pour les murs avec un habillage en briques et inférieures à 0,2 W/m²K pour les murs avec un enduit isolant. L'utilisation de montants perforés ou rainurés (Figure 7.6) limite les ponts thermiques et permet de placer plus d'isolant entre les montants sans provoquer de condensation. Pour cette raison, des montants rainurés de 150 mm de hauteur avec un panneau isolant extérieur de 30 mm et 150 mm de laine minérale entre les montants peut constituer une solution très efficace du point de vue thermique.</p>
Isolation acoustique	<p>L'isolation acoustique est rarement spécifiée pour les systèmes d'habillage mais la plupart des habillages légers assurant des valeurs U inférieures à 0,25 W/m²K permettent une atténuation des bruits aériens de plus de 30 dB. Les revêtements en briques permettent une meilleure atténuation des bruits aériens, de plus de 35 dB.</p>
Épaisseurs hors tout de murs	<p>L'épaisseur hors tout de mur dépend du type d'habillage utilisé. Les dimensions suivantes peuvent être utilisées pour les systèmes d'habillage assurant une valeur U de 0,25 W/m²K :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ouvrages en briques : 350 mm ; • Enduit isolant : 250 mm ; • Habillage métallique ou en plaques : 250 mm.

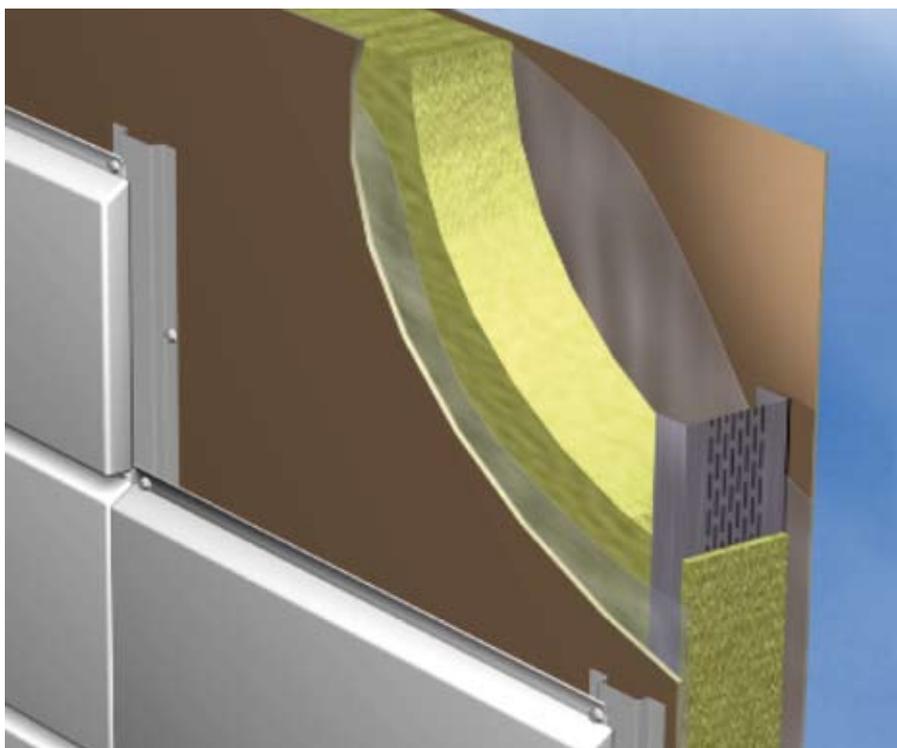


Figure 7.6 Montants rainurés utilisés avec de la laine minérale et un habillage métallique Ruukki

Systèmes de toitures

Description

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

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

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

Considérations importantes relatives au dimensionnement

Les deux principaux aspects sont le sens de portée du toit et le niveau d'isolation thermique. La portée d'un toit peut être disposée :

- d'une façade à l'autre, avec des portées de 8 à 12 m, ou ;
- entre des murs de refend avec des portées de 5 à 8 m.

Dans le premier cas, on préfère utiliser une ferme traditionnelle, mais dans le deuxième cas, des pannes ou autres systèmes permettent d'exploiter l'espace de toiture. La Figure 7.7 montre un système de toiture en acier "ouvert", permettant la réalisation de combles aménageables.

Pour les toitures, le niveau d'isolation thermique exigé est habituellement élevé (valeurs $U < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) et par conséquent, l'épaisseur totale de l'isolation thermique peut atteindre 150 mm. La plus grande partie de l'isolation est placée à l'extérieur de la toiture en acier, c'est-à-dire les fermes ou les pannes, mais on peut placer jusqu'à 30% de l'isolation entre les éléments en acier sans risque de condensation.

Les panneaux mixtes peuvent être fabriqués avec un aspect de tuiles, comme le montre la Figure 7.8. Des panneaux photovoltaïques ou des collecteurs thermiques peuvent être aisément fixés sur l'habillage en acier et son ossature secondaire.

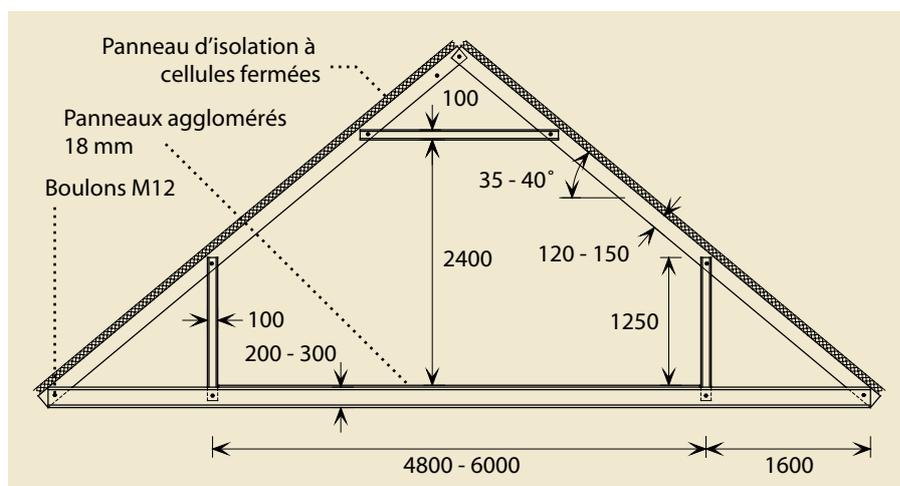


Figure 7.7 Système de toiture à combles aménageables utilisant des profilés C en éléments minces



Figure 7.8 *Système de panneaux mixtes à tuiles en cours d'installation*
Kingspan

08 Pratiques Nationales

Ce chapitre présente des pratiques nationales utilisées dans le secteur du bâtiment résidentiel pour plusieurs pays. On trouvera la présentation de certains nouveaux systèmes pouvant être plus largement utilisés en Europe.

Pratique courante au Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, il se construit environ 180.000 maisons et appartements chaque année. La situation du marché de toutes les technologies de construction métallique dans le secteur résidentiel est bonne, en particulier dans les bâtiments de moyenne hauteur et dans les logements individuels. Globalement, la part de marché de l'acier représente environ 7% dans les bâtiments résidentiels. Tous les types de constructions présentées dans ce Guide sont utilisés, mais les tendances les plus remarquables concernent les utilisations suivantes :

- Ossatures en éléments minces en acier pour les immeubles d'appartements de 4 à 6 étages ;

- *Slimdeck* et murs de remplissage en éléments minces pour les bâtiments résidentiels de 6 à 15 étages exigeant des espaces plus flexibles ;
- Construction modulaire pour des unités d'habitation individuelles, comme les résidences universitaires, avec des bâtiments d'une hauteur maximale de 10 étages ;
- Utilisation pour les bâtiments de grandes hauteurs de systèmes mixtes en construction modulaire, avec un noyau en béton pour la stabilité, ou avec une ossature en acier podium pour des bâtiments de 68 étages.

Les défis dans ce secteur consistent à construire en plus grande densité et plus rapidement dans les zones urbaines, et à

Royaume-Uni

Pays-Bas

France

Suède



Figure 8.1 *Projet de logement utilisant une ossature en éléments minces en acier (Basingstoke) HTA Architects*



Figure 8.2 *Projet résidentiel modulaire à Basingstoke, UK*
PRP Architects & Vision

respecter le *Code de Respect du Développement Durable pour les Logements "Code for Sustainable Homes"*, maintenant intégré en tant que Règles au Royaume-Uni. La préférence va à des systèmes de construction plus efficaces du point de vue de la rapidité d'installation et de la performance thermique, ce que permettent les technologies de construction métallique.

Ossatures légères en acier

Les ossatures en éléments minces en acier utilisent les technologies présentées plus haut, mais certaines tendances remarquables apparaissent pour les utilisations suivantes :

- murs porteurs simples ;
- usage mixte de planchers en éléments minces et de poutres en acier pour les longues portées ;
- usage mixte de dalles mixtes et de murs en éléments minces ;
- usage mixte de poutres en acier et de planchers en éléments minces.

Le marché des murs de remplissage dans les bâtiments à ossature en béton ou en acier s'est aussi considérablement développé.

Slimdek

Slimdek a pris une large part de marché dans le secteur résidentiel en raison du besoin de flexibilité dans la disposition des pièces, de création d'une surface utilisable maximale et d'épaisseur de plancher minimale sans retombée de poutre, en combinaison avec des systèmes de murs de remplissage en éléments minces. Le système *Slimdek* a été utilisé dans des bâtiments d'une hauteur de 16 étages (voir Figure 2.2).

Construction modulaire stabilisée par un noyau en béton

Les modules peuvent être dimensionnés efficacement si le bâtiment est stabilisé par un contreventement en acier ou par un noyau en béton, comme par exemple le bâtiment résidentiel de 17 étages, Paragon – voir Etudes de Cas. D'autres

projets ont également utilisé des modules et des dalles de plancher en béton, comme le montre la Figure 8.2, afin de satisfaire les exigences relatives à la résistance au feu et à l'isolation acoustique spécifiées pour les bâtiments de grande hauteur.

Construction modulaire portée par une ossature séparée

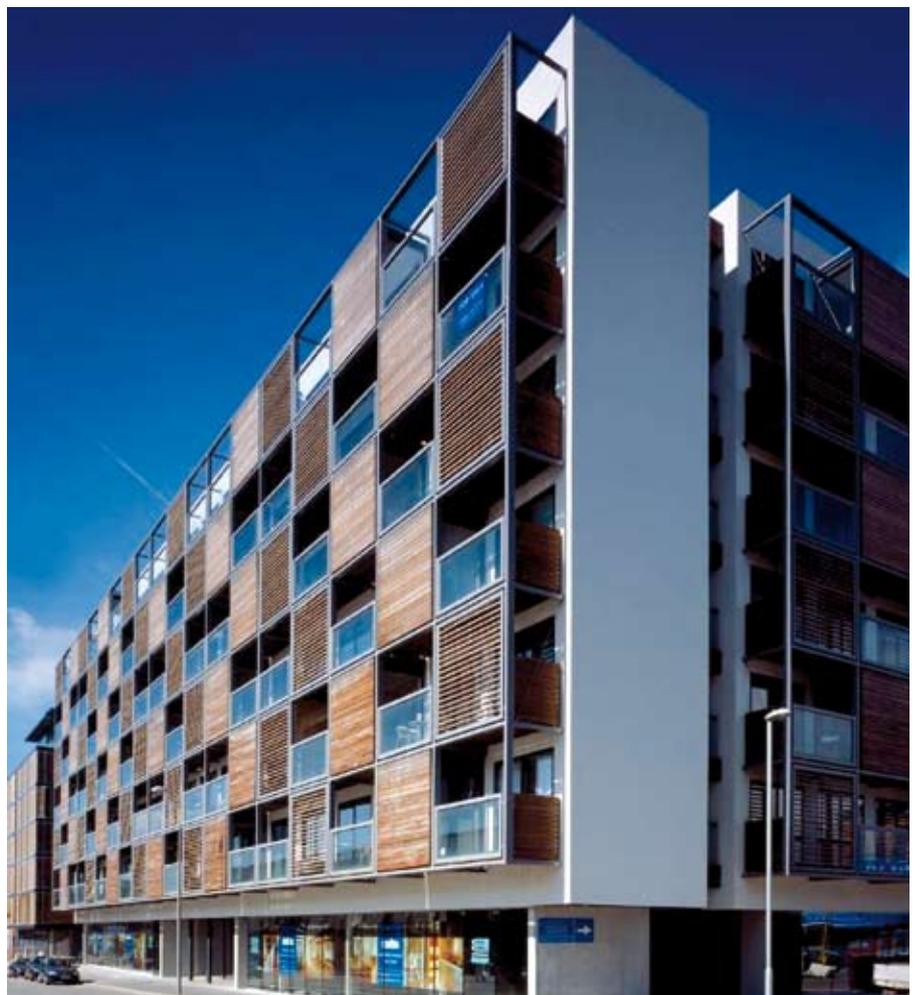
Comme décrit dans le Chapitre 6, la construction modulaire peut être combinée avec un podium ou plateforme en acier pour créer un plateau libre au rez-de-chaussée pour des utilisations commerciales ou communes, ou un parking.

Les modules peuvent également être conçus avec un "exosquelette", comme dans le projet MOHO à Manchester, voir Figures 8.3 et 8.4. Cette technique est largement utilisée pour étendre le domaine d'application des systèmes modulaires et pour créer des balcons autoporteurs.

Figure 8.3 *Ossature extérieure en acier combinée avec des modules largement vitrés, MOHO, Manchester*
Yorkon and Shed KM Architects



Figure 8.4 *Bâtiment MOHO achevé*
Yorkon and Shed KM Architects



Pratique courante aux Pays-Bas

Introduction

Plus de 70.000 maisons sont construites chaque année aux Pays-Bas, et environ 100.000 tonnes d'acier sont consommées chaque année dans ce secteur. En outre, des dizaines de milliers de tonnes d'acier sont utilisées dans le secteur de la rénovation, où l'acier constitue un matériau très apprécié.

L'application de l'acier dans le secteur résidentiel est très variée. Pour la réalisation d'habitations possédant une image moderne, on utilise des tôles profilées en acier laqué pour l'habillage et la toiture. Dans la majorité des maisons on utilise l'acier pour de petits éléments, comme les linteaux au-dessus des ouvertures de fenêtres et les poutres au-dessus des portes de garages.

Toutefois, les ossatures en acier sont largement utilisées dans les immeubles d'appartements.

Comme dans d'autres pays d'Europe, les systèmes en préfabriqués à base d'éléments minces en acier présentent de nombreux avantages dans les projets

urbains. Les tendances les plus remarquables sont les suivantes :

- Ossatures en éléments minces acier destinées aux extensions verticales, pour réaliser des appartements et duplex dans la rénovation d'immeubles d'appartements à toiture terrasse ;
- Ossatures en éléments minces en acier pour la transformation de bâtiments non résidentiels (bureaux, bâtiments industriels) en appartements ;
- Ossatures en acier utilisant des profilés laminés à chaud avec divers types de planchers (solives en éléments minces en acier, béton préfabriqué, et mixtes) dans les immeubles d'appartements ;
- Variété de composants en acier dans les maisons individuelles, jumelées et en bandes.

Extensions hors toit

Les extensions hors toit sont devenues un créneau pour le marché de l'acier. De nombreux bâtiments existants composés d'une construction en béton et d'une toiture-terrasse peuvent être rehaussés d'un ou deux étages voire plus, et les ossatures en éléments

minces en acier sont bien adaptées.

Il existe de nombreux projets intéressants, par exemple : Leeuw van Vlaanderen à Amsterdam (Lauréat du Prix National de la Rénovation 2007) et récemment Het Lage Land à Rotterdam (Figure 8.5) et De Bakens à Zwijndrecht.

Les éléments de l'ossature en éléments minces sont autoporteurs, ce qui permet de réaliser des constructions très légères. Les exigences relatives à la physique des bâtiments et à la résistance au feu sont aisément satisfaites au moyen de plaques de plâtre de différentes épaisseurs. Les déperditions thermiques au travers des murs extérieurs sont limitées par l'utilisation de matériaux isolants, comme la laine minérale. Les vibrations des planchers peuvent être réduites en ajoutant une chape en plâtre.

De nombreux bâtiments désaffectés, situés dans des emplacements intéressants, comme des ports et centres-villes sont transformés en espaces commerciaux et appartements de haute qualité. La rénovation et l'extension hors toit des entrepôts *Nautilus* and *Ijsvijs* à La Haye (Figure 8.6) est un bon exemple.



Figure 8.5 Extension hors toit avec appartements duplex : Het Lage Land à Rotterdam

Figure 8.6 Transformation d'un ancien entrepôt offrant une vue spectaculaire : Nautilus & IJsvivis à La Haye (Lauréat du National Steel Prize 2006, catégorie Bâtiments résidentiels)



Les nouvelles constructions hors-toit au style architectural verre et acier offrent une vue spectaculaire sur le port. La méthode de construction est un mélange d'ossatures en éléments minces et en acier de construction.

Immeubles d'appartements

Parallèlement à l'augmentation de l'utilisation de structures en acier dans les bâtiments commerciaux, plusieurs immeubles d'appartements à plusieurs étages avec des ossatures en acier ont récemment été achevés.

Une grande variété de systèmes de planchers sont couramment utilisés : dalles alvéolaires préfabriquées (Het Baken à Deventer), dalles en béton (Montevideo à Rotterdam), dalles mixtes (Schutterstoren à Amsterdam), dalle acier-béton inversée (La Fenêtre à La Haye - voir Etudes de Cas) et ossature en éléments minces en acier (Linea Nova à Rotterdam).

Maisons particulières

Depuis près d'un siècle, l'acquisition de maisons privée est subventionnée par le gouvernement Néerlandais. Les désirs d'une architecture de maisons jumelées et en bandes expressive avec des fenêtres de grandes dimensions ont conduit à l'utilisation d'éléments de façade et d'ossature en acier. La Figure 8.8 montre un exemple réalisé dans un style architectural ouvert faisant appel à la construction métallique.

Le concept Smart House a été développé par l'Architecte Robert Winkel. Il fait appel à des poutres en tubes rectangulaires et carrés ainsi qu'à des cassettes de plancher en éléments minces en acier et à des murs de remplissage. Il est basé sur une trame de poteaux de 5,4 m. Bien qu'un petit nombre de constructions aient été réalisées selon ce concept, ce système est très pratique pour les bâtiments résidentiels de grandes dimensions et les immeubles de bureaux de petite taille (Figure 8.9).

Pratique courante en France

En France, le marché des bâtiments résidentiel représente environ 300.000 constructions par an, dont environ 50% sont des appartements. Le secteur du logement social a toujours été actif en France, et de nombreuses associations gérant les logements sociaux conçoivent et réalisent leurs propres constructions.

La construction métallique a conquis une part de marché de 7%, principalement grâce au système de construction de maisons Maison Phénix. Plus récemment, la construction mixte a opéré une percée dans le secteur des bâtiments résidentiels à plusieurs étages. Les projets de constructions modernes en France adoptent de plus en plus les critères de respect du développement durable du système HQE® (*Haute Qualité Environnementale*).

PRISM

Le concept PRISM (Produits Industriels et Structures Manufacturées) est un



Figure 8.7 Immeuble d'appartements à plusieurs étages comportant une ossature en acier : Schutterstoren à Amsterdam



Figure 8.8 Maisons individuelles : House De Kom à Oranjewoud



Figure 8.9 (Au-dessus & à droite) Smart House, Rotterdam utilisant tubes carrés & rectangulaires avec des murs de remplissage en éléments minces et des solives de plancher

concept basé sur une structure en acier appropriée aux bâtiments résidentiel.

Divers systèmes de dalles peuvent être utilisés avec le concept PRISM, y compris les dalles en béton armé courantes, les dalles alvéolaires préfabriquées en béton armé et les dalles mixtes.

PRISM utilise en général des murs extérieurs de remplissage en éléments minces portés par les dalles de plancher. L'isolation thermique est fixée extérieurement sur le mur et l'ossature secondaire en éléments minces en acier forme la peau intérieure du système de façade. L'ossature secondaire s'étend d'une dalle à l'autre. L'isolation thermique et acoustique est assurée par de la laine minérale et des plaques de plâtre (voir Figure 8.10).

Deux systèmes de façade sont utilisés : un destiné aux éléments lourds comme la terre cuite, est l'autre destiné aux éléments légers comme les enduits isolants. Les deux systèmes d'habillage utilisent une ossature secondaire

adaptée en acier, ce qui permet une large gamme de solutions.

A l'intérieur des éléments d'habillage, le mur est constitué de la façon suivante :

- Deux plaques de plâtre résistant au feu de 13 mm d'épaisseur assurant une résistance au feu de 60 minutes ;
- Un vide de 60 à 100 mm permettant de placer l'isolation en tête de la dalle et devant les poteaux en acier ;
- Une isolation en laine minérale de 70 à 100 mm d'épaisseur ;
- Un mur de structure secondaire en éléments minces en acier qui comprend des rails horizontaux et des montants verticaux.

L'épaisseur totale des éléments intérieurs est d'environ 160 mm. La tête de dalle et les poteaux sont thermiquement protégés de l'extérieur par l'isolation, ce qui évite les ponts thermiques. L'épaisseur totale du mur peut varier de 290 à 360 mm.

Les murs de séparation et les cloisons sont faits de plaques de plâtre fixées sur une ossature secondaire en acier et utilise de la laine minérale pour l'isolation

acoustique. Cette technique est largement utilisée dans la construction de bâtiments. Elle permet une reconfiguration et modification des dispositions au sol après plusieurs années d'utilisation.

Système de dalle Cofradal 200

Cofradal 200 est une dalle de plancher légère qui utilise un bac élément mince en acier dans lequel est placé de la laine minérale rigide recouverte d'une chape mince en béton. Sa hauteur hors tout est de 200 mm, comme illustré dans la Figure 8.13. Il peut être utilisé aussi bien pour les bâtiments commerciaux que pour les bâtiments résidentiels. Une action mixte est assurée entre le bac et le béton.

Système de dalle PCIS

PCIS est un système de dalles à sec utilisé dans les bâtiments résidentiels. Des poutres asymétriques sont intégrées dans l'épaisseur de la dalle. Les profilés peuvent être reconstitués ou une plaque d'acier peut être soudée sous la semelle inférieure d'un profilé HE. La portée des poutres va jusqu'à 6 m. Elles sont simplement assemblées sur les poteaux. L'épaisseur hors tout de la dalle est de 320 mm.



Figure 8.10 Le système PRISM en cours de construction : Ossature en acier, toiture et murs extérieurs en éléments minces prêts à recevoir la peau extérieure



Figure 8.11 *Système PRISM : Exemple d'enveloppe extérieure avec habillage en pierre*
Architect : P Sartoux

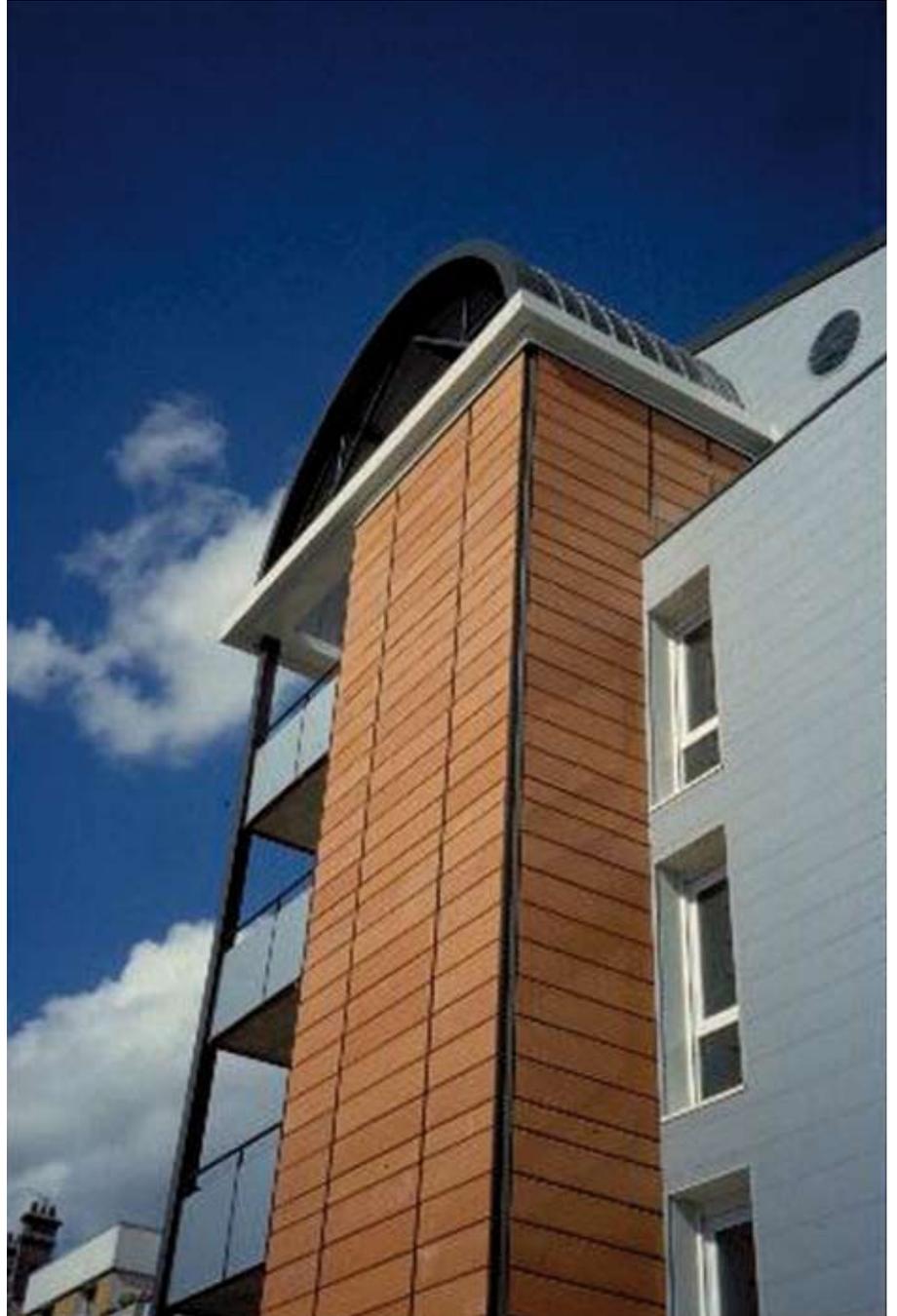


Figure 8.12 *Exemple de bâtiment construit au moyen du système PRISM*

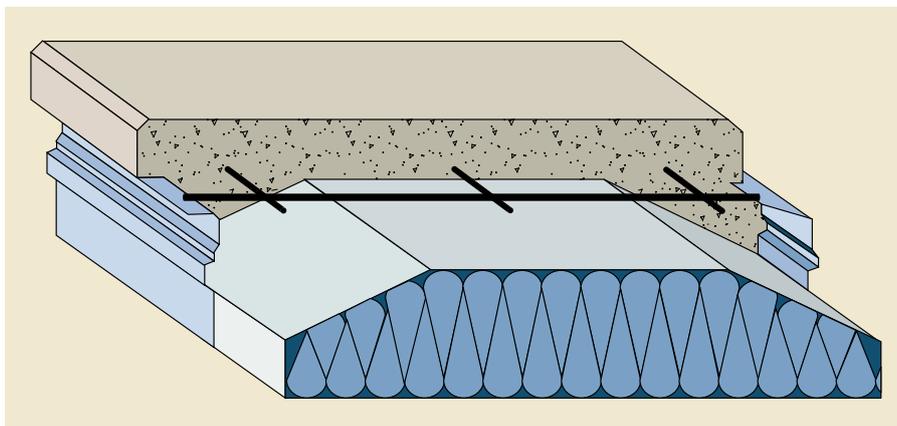


Figure 8.13 Unités de dalles légères Cofradal 200 – section transversale typique et panneaux en cours d'installation



Le système de construction est le suivant : de bas en haut, la dalle comprend :

- Des tôles profilées en acier galvanisé (1,5 mm d'épaisseur) vissées sur les poutres support ;
- Une épaisseur de 3 mm de laine minérale (230 g/m²) sert de support à un panneau triplex en bois de 12 mm d'épaisseur. Ces panneaux sont vissés sur les tôles profilées en acier ;
- Une plaque de plâtre de 12 mm d'épaisseur avec une finition dure joue le rôle de surface d'usure supérieure.
- Les matériaux appropriés pour les plafonds sont les suivants :
 - Isolation thermique et acoustique : laine minérale de 45 mm

d'épaisseur (résistance au feu de 30 minutes) ou laine de roche de 70 mm d'épaisseur (résistance au feu de 60 minutes) ;

- Deux épaisseurs de 12 mm de plaque de plâtre (résistance au feu de 30 minutes) ou deux plaques de plâtre résistant au feu de 12 mm (résistance au feu de 60 minutes).

Maison PHÉNIX

Maison Phénix est la première entreprise sur le marché français avec environ 6.000 maisons livrées par an et 50 ans d'expérience. L'ossature en acier est constituée de cornières ou de profilés IPN / IPE. L'adaptabilité et la

personnalisation des produits donne lieu à une large gamme de formes de maisons possédant diverses façades.

La Figure 8.14 montre des détails de ce système de construction utilisé surtout pour des maisons à un seul niveau.

Pratique courante en Suède Introduction

En Suède, la principale application de l'acier se fait dans la construction de planchers minces (bureaux et logements) et dans les murs en éléments minces, en utilisant souvent des profilés C perforés ou rainurés. Les coûts de main d'œuvre représentent une grande partie du coût total de la construction finie et une



Figure 8.14 *Maison Phénix en cours de construction, montrant les détails de toiture pour une maison à un seul niveau*

réduction du temps de construction sur le chantier est aussi très importante.

Systemes de planchers minces

Les systèmes de planchers minces comportent des poutres de faible hauteur et longues portées permettent une flexibilité dans la disposition des appartements. La faible épaisseur dépend du plancher en lui-même, mais

aussi des poutres de rive et des poutres intérieures conçues avec des semelles inférieures larges. La jonction entre la poutre support et la dalle alvéolaire portée est remplie de béton. Les poutres en acier sont enrobées dans le béton environnant et protégées de l'incendie. Dans les bâtiments résidentiels, il est courant de construire un système de plancher secondaire. Les équipements

techniques horizontaux peuvent alors être installés entre les éléments de plancher inférieur et supérieur.

Construction en éléments minces en acier

Un plancher en éléments minces est composé de profilés en acier formés à froid porteurs et de dalles, comme décrit dans le chapitre 3. Il peut être construit



Figure 8.15 Exemple de bâtiment résidentiel de 7 étages avec un système de plancher mince en Suède

sur chantier, ou préfabriqué sous forme de cassettes ou d'éléments qui sont ensuite installés sur site. Une composition de plancher courante comporte des profilés C espacés de 600 mm. La hauteur des solives se situe entre 150 et 300 mm, selon la portée. Des tôles à profil trapézoïdal sont fixées sur la semelle supérieure et peuvent également transmettre les charges horizontales. La portée de plancher maximale est d'environ 8 m lorsqu'on utilise des profilés C de 300 mm de hauteur. L'expérience courante montre que les ossatures légères de plancher d'une portée de 4 à 4,5 m sont les plus économiques pour les logements, et que des détails constructifs efficaces permettent une bonne isolation acoustique.

Des constructions en éléments minces en acier sont utilisées comme systèmes porteurs pour les bâtiments résidentiels de trois étages au maximum. Les constructions en éléments minces sont couramment combinées avec d'autres systèmes stabilisants comme les profilés en acier reconstitués soudés (PRS) ou laminés. Le poids total du plancher est inférieur à 150 kg/m² de surface de plancher.

Construction modulaire

Le système modulaire OpenHouse a été utilisé à Annestad à Malmö. Il est basé sur une trame de poteaux de 3,9 m. L'application du système OpenHouse est présentée dans les Etudes de Cas.

09 Etudes de Cas

Ce chapitre présente une série d'Etudes de Cas pour illustrer les principes de dimensionnement et de construction traités plus haut.

Les Etudes de Cas et leurs systèmes structuraux sont les suivants :

- *Paragon, Londres.*
Série de bâtiments résidentiels de 4 à 17 étages composés de modules groupés autour de noyaux en béton ;
- *Logements sociaux, Evreux.*
Bâtiment résidentiel de 4 étages faisant appel à un système de construction à sec ;
- *La Fenêtre, La Haye.*
Bâtiment résidentiel à plusieurs étages porté par des poteaux inclinés en acier ;
- *Bioclimatic Towers (Tours Bioclimatiques), Vitoria-Gazteiz.*
Quatre tours de 16 étages construites en acier, très respectueuses de l'environnement ;
- *OpenHouse, Malmö.*
Système de logements modulaires pour des immeubles d'appartements de 4 étages.

Paragon, Londres

Logements sociaux à Evreux, France

La Fenêtre, La Haye

Bioclimatic Towers, Vitoria Gazteiz

OpenHouse, Malmö

Paragon, Londres

Le bâtiment modulaire le plus haut de Grande-Bretagne a été réalisé pour le promoteur Berkeley First, et offre des logements abordables à l'Ouest de Londres. Ce projet de 17 étages est composé de modules groupés autour d'un noyau en béton.

Avantages pratiques :

- Construction modulaire jusqu'à 17 étages
- Système de construction rapide
- Réduction des problèmes logistiques sur le chantier
- Excellente isolation acoustique
- Les modules à côtés ouverts permettent une organisation flexible de l'espace
- Modules portés par un podium en acier



Le promoteur Berkeley First a choisi la construction modulaire pour son projet-clé de logements pour travailleurs et primo-occupants appelé Paragon à Brentford, à l'ouest de Londres, parce qu'elle permettait de réaliser un programme de construction court sur 22 mois et de réduire les problèmes logistiques sur chantier.

Situé entre l'autoroute M4, des logements de banlieue et une école locale, le site présentait de grandes difficultés d'accès pour les livraisons, le stockage de matériaux et les installations sur chantier pour les ouvriers et le matériel. La construction modulaire a permis de résoudre un grand nombre de ces problèmes, et les modules ont été livrés au rythme moyen de 8 par jour en 40 minutes chacun sans exiger le blocage de route.

L'utilisation de la construction modulaire est habituellement limitée à des

immeubles de 8 à 10 étages, mais l'extension de cette technologie à 17 étages pour ce projet a été possible grâce à un noyau en béton assurant la stabilité globale. Ainsi, les modules doivent résister aux charges verticales et transmettre les charges de vent au noyau.

A l'origine, les premières phases du projet n'étaient pas conçues en construction modulaire. Pour cette raison, l'efficacité de fabrication des unités modulaires répétitives n'a pas été totalement atteinte. Toutefois, Caledonian Building Systems a pu fabriquer une large gamme de types de modules, dont de nombreux possédaient des côtés ouverts, de sorte que deux modules pouvaient être placés côte à côte pour réaliser des pièces plus larges.

Le projet comprend 6 bâtiments de 4, 5, 7, 12 et 17 étages. Le nombre total de modules utilisés dans le projet est de 827, et le bâtiment à 17 étages comprend

Equipe chargée du projet

Promoteur :

Berkeley First

Architectes :

Carey Jones

Ingénieurs chargés des structures :

Capita Symonds,**Alan Wood and Partners**

Entreprise chargée des modules :

Caledonian Building Systems

413 modules. Les dimensions de module typiques sont 12 m x 2,8 m, mais certains modules sont fabriqués dans une largeur pouvant atteindre 4,2 m, ce qui constitue le maximum pour le transport routier.

Ce projet a coûté 26 millions de livres et a été achevé en Septembre 2006.

Détails constructifs

Le projet Paragon comprend 840 logements d'étudiant, 114 studios, 44 appartements à une chambre et 63 appartements à deux chambres. Les modules ont été combinés pour créer des appartements plus grands. Les appartements à une ou deux chambres ont été construits au moyen de 2 ou 3 modules, chacun de 35,55 m² de surface au sol.

Les modules utilisent des profilés C en éléments minces pour les planchers et les murs, combinés avec des poteaux en tubes carrés 80 x 80 SHS ou rectangulaires 160 x 80 RHS et des épaisseurs variables en fonction de la hauteur du bâtiment pour supporter les charges verticales. Ces poteaux sont emboîtés dans les panneaux de mur en éléments minces. Les poutres de rive en profilés laminés à chaud U à Semelles Parallèles (PFC) de 200 x 90 au rez-de-chaussée et en 140 x 70 PFC au niveau du plafond, afin de réaliser des modules



Installation d'un module sur le podium en acier

à côtés partiellement ouverts d'une portée allant jusqu'à 6 m. L'épaisseur du plancher et plafond combinés est de 400 mm et la largeur des murs est de 290 mm. Les deux constructions assurent une excellente atténuation des bruits aériens de plus de 60 dB, et une résistance au feu allant jusqu'à 120 minutes.

Les modules sont fixés les uns aux autres ainsi que sur le noyau en béton au moyen de cornières en acier fixées sur des profilés en U scellés dans le noyau en béton. Le calcul des forces s'exerçant dans ces assemblages a été effectué en prenant en compte les forces de vent et l'intégrité de l'ossature. La construction des noyaux a été achevée avant l'installation des modules. Dans certaines zones, les modules ont été installés sur un podium à ossature en acier afin de permettre l'accès des véhicules au niveau du sous-sol.



Modules fixés sur le noyau en béton

Logements sociaux à Evreux, France

L'utilisation d'un système de construction à sec pour un bâtiment résidentiel de 4 étages a permis une installation rapide, une flexibilité d'utilisation et une perspective de respect de l'environnement pendant toute sa durée de vie.

Avantages pratiques :

- Construction rapide
- Utilisation intensive de composants en acier
- Construction sèche
- Construction légère et fondations peu profondes
- Le bâtiment peut être reconfiguré dans le futur
- Flexibilité dans l'utilisation des espaces



Ce bâtiment résidentiel a été réalisé par l'OPAC de l'Eure en coopération avec le Ministère de la Ville et du Logement. Les architectes, Dubosc & Landowski, participent à la promotion de l'utilisation de l'acier pour la construction depuis de nombreuses années. Ils ont proposé un concept innovant pour ce projet de 51 logements locatifs comprenant une bibliothèque municipale.

La conception a été réévaluée en faveur d'une approche de construction sèche utilisant intensivement l'acier, avec une utilisation limitée au minimum de béton pour les sous-sols et le rez-de-chaussée.

Le projet comprenait cinq bâtiments adjacents de 4 étages, avec 51 logements sociaux allant de 56 m² à 106 m², dans des configurations de deux à cinq pièces,

plus une bibliothèque municipale de 328 m² sur deux niveaux. Les appartements supérieurs sont des duplex, avec terrasse et grandes ouvertures. Le bâtiment comprend également un total de 22 places de stationnement couvertes.

La structure comporte une ossature principale en acier, des tôles profilées de grande hauteur et des panneaux de planchers, un toit métallique cintré, des escaliers extérieurs en acier et un contreventement en X. L'ensemble du système de construction est léger. Il peut recevoir des extensions et être démonté dans le futur.

Ce projet faisait partie d'une série d'initiatives de rénovation urbaine à Evreux, en Normandie. Le coût du bâtiment s'est élevé à 775 €/m² de

Equipe chargée du projet

Promoteur :

OPAC de l'Eure

Architecte :

Dubosc & Landowski

Bureau d'Etudes :

Bohic

Entreprise :

Quille*(Haut) Utilisation mixte de matériaux**(Droite) Plancher intermédiaire montrant le large espace ouvert pour une disposition flexible des cloisons et l'utilisation intensive d'éléments en acier*

surface de plancher, dont 20% représente le coût des planchers, de la toiture et de la structure en acier. Le bâtiment a été achevé en 9 mois, principalement en raison de la nature préfabriquée du procédé de construction.

Détails constructifs

L'ossature porteuse est réalisée en profilés acier laminés à chaud. Le contreventement est un système à bandes planes d'acier, intégré dans les murs de séparation et dans l'épaisseur de la dalle pour le contreventement horizontal. Cette ossature porteuse est apparente en de nombreux emplacements dans le bâtiment, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, montrant ainsi l'approche radicale de la conception.

L'enveloppe est une combinaison de panneaux en bois et de tôles en acier, offrant un contraste architectural de couleurs et de textures. La toiture est



réalisée au moyen de tôles contrées en acier portées par des pannes.

Le plancher est un système mixte sec appelé PCIS "Plancher Composite Interactif Sec" produit par ArcelorMittal, composé d'une combinaison de tôles en acier à profils de grande hauteur, de laine minérale pour l'isolation acoustique et thermique, de panneaux de contreplaqué et d'une chape flottante. Les poutres sont intégrées dans l'épaisseur de la dalle de 320 mm et leur portée est de 6 m maximum pour des charges d'exploitation de 1,5 kN/m² plus une charge répartie de 1 kN/m² (cloisons et finitions).

Les matériaux étant tous largement disponibles, les éléments de construction ont été en grande partie produits en usine, ce qui a permis une qualité élevée et une construction rapide. Ils pouvaient être manipulés et installés par des ouvriers qualifiés au cours d'un processus de construction rapide.

Une résistance au feu de 30 minutes a été obtenue avec deux épaisseurs de 13 mm de plaque de plâtre fixées aux plafonds. Les performances thermiques et acoustiques sont supérieures aux exigences, ce qui a permis au projet d'obtenir le label de qualité français "EDF-Innov'elec".

Du béton léger a été utilisé dans certaines zones, principalement au sous-sol et au rez-de-chaussée. L'utilisation de béton léger a permis de réduire le poids du bâtiment et donc les dimensions des fondations.

La Fenêtre, La Haye

Un système de construction original a été utilisé pour créer un immeuble d'appartements de 16 étages dans le centre de La Haye aux Pays-Bas. La superstructure en acier est appuyée sur des poteaux tubulaires inclinés et le bâtiment est conçu pour être "transparent".

Avantages pratiques :

- Stabilité assurée par des poteaux tubulaires inclinés
- Façade transparente avec plancher de faible épaisseur
- Béton apparent
- Conduites d'eau noyées dans la dalle
- Résistance au feu de 120 minutes
- Passage des équipements techniques sous les planchers
- Excellente isolation acoustique



Une structure en acier très intéressante, appelée La Fenêtre, constitue un monument au niveau d'une intersection routière fréquentée à La Haye (Den Haag), près de Rotterdam. Les 16 étages d'appartements sont portés par des poteaux tubulaires inclinés. Ce bâtiment utilise un système structural original appelé *Slimline*, qui est basé sur une série de poutres en I espacées de 0,6 à 0,9 m, dans lequel une dalle en béton est coulée au préalable autour de la semelle inférieure de la poutre. La largeur utile de la dalle préfabriquée inversée est de 2,4 m, ce qui convient pour le transport et l'installation.

La dalle inversée a généralement une épaisseur de 70 mm et sa sous-face est apparente. Les équipements techniques sont situés sur la dalle et comprennent la climatisation et le chauffage au plancher. Le plancher est posé sur la semelle supérieure des poutres, et peut comporter une chape en plâtre posée sur les panneaux de plancher ou des tôles de faible hauteur.

Ce système de construction peut également être utilisé pour les bureaux et les hôpitaux lorsque le passage des équipements techniques doit se faire sous le plancher. Dans ce bâtiment, des conduites d'eau ont été aussi noyées dans la dalle pour le chauffage, et la dalle inversée peut chauffer ou rafraîchir l'espace habitable par rayonnement.

La façade est totalement vitrée et, avec des poteaux tubulaires de 20 m de long, le bâtiment semble transparent. L'ossature est contreventée intérieurement.

Des essais au feu ont été effectués au laboratoire TNO de Delft pour justifier une résistance au feu de 120 minutes, les poutres en acier étaient protégées uniquement par l'isolation thermique assurée par la dalle inversée. Une excellente isolation acoustique a été également obtenue.

La construction a débuté au début de l'année 2004 et s'est achevée à la fin de 2005.

Equipe chargée du projet

Client :

Latei projectontwikkeling

Architecte :

Architectenbureau Uytenhaak

Ossature en acier :

Oostingh Staalbouw

Ingénieurs chargés du projet :

Adams

Entreprise chargée des planchers :

PreFab Limburg BV

Entreprise chargée des

équipements techniques :

Heijmans

(Haut) Bâtiment en cours de construction

Détails constructifs

On peut utiliser diverses poutres en acier dans le système *Slimline*, selon leur portée et les charges. Bien que la semelle supérieure de la poutre ne soit pas maintenue latéralement, la stabilité au déversement par torsion est assurée par la dalle coulée autour de la semelle inférieure. Le rapport portée/hauteur habituel des poutres est de 20, et une poutre en I de 450 mm de hauteur peut donc avoir une portée maximale de 9 m.

Les équipements techniques passent au travers d'ouvertures oblongues pratiquées dans l'âme des poutres. L'épaisseur minimale de plancher est de 600 mm.

La dalle inversée en béton a été dimensionnée pour supporter son propre poids et les charges des équipements techniques. Son épaisseur est de 70 mm en général. Le plancher comporte une

dalle en plâtre coulée sur des panneaux de plancher ou des tôles profilées de faible hauteur (20 mm), et son épaisseur est de 60-80 mm. L'ossature a été dimensionnée pour supporter une charge maximum imposée par le plancher de 3 kN/m².

Les panneaux de plancher préfabriqués *Slimline* peuvent être portés par des poutres en acier périphériques positionnées sous les panneaux de plancher. La dalle est coulée en respectant un jeu de 100 mm par rapport au bord des poutres. Les poutres support sont alignées avec les murs de séparation intérieurs. Les conduites de chauffage/climatisation peuvent également être noyées dans la dalle, selon l'application, et chauffer/rafraîchir l'espace situé en dessous par rayonnement.

Dans le bâtiment La Fenêtre, les colonnes tubulaires inclinées sont positionnées sous les poteaux verticaux d'ossature sur une trame de 6 m x 9 m et ont été ramenés à 8 positions ponctuelles au sol afin d'optimiser les exigences relatives aux fondations. Les coûts de protection incendie ont été limités grâce à l'isolation thermique assurée par la dalle inversée et l'utilisation d'éléments tubulaires à massivité élevée. Le bâtiment a été stabilisé par les poteaux tubulaires avec un contreventement tubulaire interne.

(Droite) Équipements techniques sous le plancher dans le système *Slimline*

Bioclimatic Towers, Vitoria Gazteiz

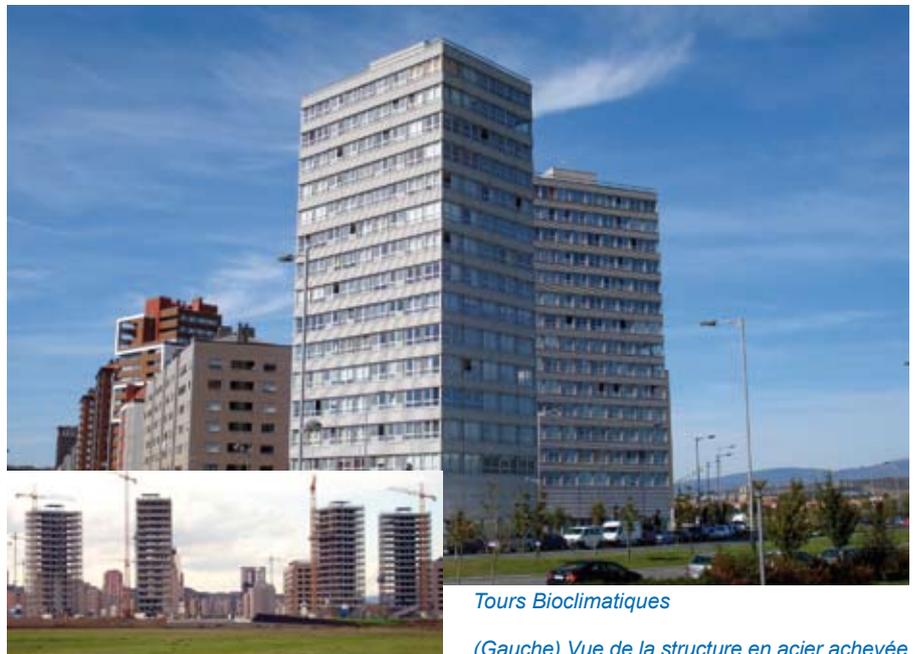
Les Tours Bioclimatiques à Salburua Fens, Vitoria - Espagne, sont 4 tours similaires comportant des appartements, un espace commercial et des bureaux, construites au moyen de 1.400 tonnes d'acier. Le contrôle du rayonnement solaire a été obtenu grâce à une conception bioclimatique.

Avantages pratiques :

- Solution architecturale remarquable
- L'approche bioclimatique permet le respect de l'environnement et des économies d'énergie
- Préfabrication de la structure
- Flexibilité maximum en ce qui concerne l'utilisation de l'espace
- Possibilité de recyclage de la structure du bâtiment
- Utilisation intensive de composants en acier



Tours Bioclimatiques en cours de construction



Tours Bioclimatiques

(Gauche) Vue de la structure en acier achevée

Salburua est une zone marécageuse, située aux abords de la ville, et faisant partie de la Ceinture Verte de Vitoria-Gasteiz. Quatre tours comprenant des bureaux et des logements sociaux y ont été construites. Les critères importants pour le dimensionnement de ces tours étaient le respect de l'environnement, l'efficacité de la structure, la capacité d'utilisation à long terme et la maintenance.

Tous les appartements de ces tours possèdent deux orientations. Elles respectent fortement l'environnement, grâce à leurs orientations optimales, l'efficacité de leurs façades en ce qui concerne les économies d'énergie et l'intégration de systèmes basés sur l'utilisation d'énergies renouvelables.

Elles ont été exposées au Musée d'Art Moderne (MOMA) de New York. Le projet a été conçu par les prestigieux architectes Iñaki Abalos et Juan Herreros. Chaque tour possède une surface de plancher de 281,5 m² par étage et sa hauteur est de 48 m.

Ces Tours Bioclimatiques de 16 étages ont été construites au moyen d'une ossature en acier périphérique, des planchers en béton armé et des poteaux intérieurs (seulement 4 poteaux en acier par étage). La totalité des ossatures des tours est composée de 1.400 tonnes d'acier.

Les bâtiments ont été achevés en 2006.

Equipe chargée du projet

Client :

Ensnache XXI

Architecte :

Ábalos & Herreros

Propriétaire :

Jaureguizar S.L

Ossatures en acier :

Goros Construcciones Metálicas

Entrepreneurs :

Goros S.Coop (Vitoria-Gasteiz)

Fabrication hors chantier des panneaux structuraux de façade



Plancher avec poteaux intérieurs dans le bâtiment

Détails constructifs

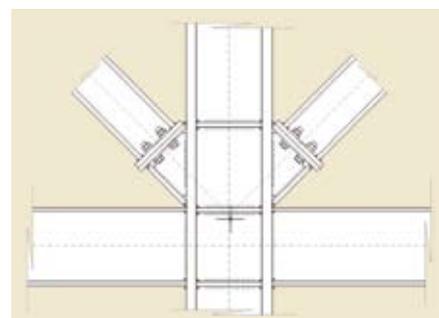
La structure comporte quatre panneaux préfabriqués tous les deux étages du bâtiment (environ 6 m de haut). L'ossature principale en acier a été totalement fabriquée en usine, ce qui a rendu la phase d'assemblage sur site plus efficace et beaucoup plus rapide.

Le plancher en béton armé (qualité de béton C25) est une dalle pleine de 250 mm d'épaisseur, avec des portées maximales de 7 m, et il a été construit en totalité sur le chantier.

Les poteaux sont des sections mixtes en acier et béton sur toute la hauteur du bâtiment. Les profilés en acier sont des HEM200 à HEM600 ou HEB180 à HEB500 en nuance d'acier S355. Les poteaux portent des traverses réalisées en profilés HEM120, chacune d'une portée d'environ 3 m. Elles sont noyées dans le béton de plancher avec les barres d'armature (acier B500S, 8 mm de diamètre, espacées de 200 mm).

Les panneaux structuraux sont composés de poutres à âme pleine de plus d'1 m de hauteur avec des portées variables sur la périphérie des tours, de 2,3 à 2,9 m.

Les assemblages soudés ont été réalisés en usine tandis que les assemblages boulonnés ont été réalisés sur chantier en raison de leur rapidité d'installation et de leur insensibilité aux conditions météorologiques.



Assemblage boulonné entre poteaux au premier étage et contreventement

Un système de transport spécial a été nécessaire pour acheminer sur le chantier les panneaux structuraux préfabriqués car leur poids dépassait 20 tonnes avec une longueur de 30 m et une largeur de 6 m.

La structure a été montée en temps record, à un rythme moyen de 1,5 jour par étage. Le temps nécessaire pour fabriquer et monter chaque tour a été d'environ 4 mois, dont 2 mois pour la fabrication en usine et 2 mois d'assemblage sur site.

Remerciements :

A la société GOROS S.Coop. de Vitoria (Pays Basque, www.goros.net) et particulièrement à Miguel Angel Zudaire (Directeur Technique), au contremaître Raúl Etayo, à Pedro Marchan (Directeur de Chantier) et à Mikel Zudaire.

OpenHouse, Malmö

L'objectif du système OpenHouse est d'offrir un moyen économique de construire des appartements grâce à la construction modulaire. Ce projet de 1200 appartements présente diverses configurations.

Avantages pratiques :

- Adaptabilité dans la forme et l'utilisation du bâtiment, et réutilisation future des modules
- Respect de l'environnement grâce à l'économie de matériaux et la réduction des déchets
- Réduction des risques et amélioration de la qualité grâce à l'industrialisation de la fabrication, et construction sèche sur chantier
- Diversité des options concernant l'habillage, la couverture et les balcons
- Haut degré d'isolation thermique et acoustique



Module OpenHouse en cours d'installation, montrant l'utilisation de modules à côtés ouverts avec des poteaux supplémentaires provisoires



Annestad à Malmö, Suède, est un ensemble résidentiel d'importance. Un total de 1200 appartements a été construit sur une période de quatre années. L'ensemble achevé en 2006 a été divisé en blocs de taille moyenne de 2 à 5 étages. Cet ensemble est une combinaison d'appartements pour location et d'appartements d'accession à la propriété. Le loyer d'un appartement est d'environ 110 € par m²/an.

Le projet utilise le système OpenHouse pour l'ossature en acier de construction. Les modules sont basés sur une trame de 3,9 m ou multiple de 3,9 m.

Ils possèdent des angles encastrés et comportent des poteaux d'angle en tubes carrés (SHS).

La dimension des appartements va d'une pièce unique avec cuisine à quatre pièces avec cuisine. Les matériaux de façade utilisés dans ce projet sont une combinaison de briques, de plaques, d'enduit isolant et de bois. Les modules totalement équipés sont positionnés en décalé de sorte à créer une ligne de façade variable. Des balcons, des façades et des toitures métalliques ont été ajoutés sur chantier aux modules.

Equipe chargée du projet

Client :

**Hyreshem Malmö /
OpenHouse Production**

Architecte :

**Landskronagruppen /
OpenHouse Production**

Entreprise principale :

OpenHouse Production

Fournisseur des modules :

OpenHouse Production

(Haut) Installation de modules
et façades achevées

Détails constructifs

Les modules sont disposés au sein d'un système d'ossature fait de poteaux en tubes carrés (SHS) espacés de 3,9 m. Chaque module est porté par six poteaux.

L'intérieur des modules mesure 3,6 m de large par 11 m de long au maximum. Ils peuvent avoir une partie en console de 1,7 m par rapport au poteau de l'ossature extérieure. Le poids fini d'un module est en général de 5 à 8 tonnes. Les modules ont été construits de sorte à transmettre les charges horizontales aux éléments de contreventement, c'est-à-dire les cages d'escaliers en acier ou en béton. Ce système peut être utilisé dans des bâtiments de 8 étages, bien que la limite normale soit de 5 étages.

Les modules sont construits en utilisant des éléments minces en acier combinés à de la laine minérale et des plaques de plâtre. Les murs extérieurs sont composés de montants en éléments minces rainurés, de laine minérale et de plaques de plâtre, et assurent une bonne

performance thermique. La couverture et le plancher du module sont composés de poutres en éléments minces en acier, de laine minérale, de plaques de plâtre et de tôles en acier à profils trapézoïdaux. Les modules sont autoporteurs et résistent aux charges verticales et latérales jusqu'à une hauteur de 5 étages.

L'utilisation de montants en acier rainurés avec de la laine minérale placée entre les montants assure un haut degré d'isolation thermique permettant d'obtenir des valeurs U proches de 0,1 W/m²K. Les modules à côtés partiellement ouverts ont été fabriqués en utilisant des poteaux intermédiaires, de sorte à pouvoir placer ces modules côte à côte pour créer des pièces de plus grandes dimensions.

Une fois positionnés sur chantier au moyen d'une grue, les modules ont été fixés sur les poteaux en tubes carrés SHS, les équipements techniques ont été raccordés et les planchers ont été coutrés entre les modules à côtés ouverts.



(Droite) Projet Annestad près
d'Öresund, sud de la Suède

**ArcelorMittal**

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

**Bouwen met Staal**

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

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

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

**Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)**

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

**Labein - Tecnalia**

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

**SBI**

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

**The Steel Construction Institute (SCI)**

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

**Technische Universität Dortmund**

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