

01/06 steeldoc

Concevoir et construire

Bases conceptuelles des
charpentes métalliques



tec 01

Table des matières

I Introduction

1	Introduction	4
2	Acier – du matériau à l'ouvrage	5
	Transformation d'un matériau	
	Nouvelles dimensions	
	Sections minces – vers la maison en verre	
	Préfabrication et tout devient possible	
	Plasticité et ornement	

II Bases conceptuelles

3	Le matériau de construction	10
	Propriétés de l'acier de construction	
	Avantages de la construction en acier	
	Prédimensionnement des poutres	
4	Les produits – formes et applications	12
	Types de profilés	
	Produits plats et autres profilés	
5	Etude des structures porteuses	14
	Structure du système porteur	
	Stabilisation des structures porteuses	
	Choix des éléments de contreventement	
	Comportement des contreventements à treillis	
6	Poteaux	17
	Sections de poteaux	
	Détails constructifs des poteaux	
7	Poutres	19
	Types de poutres	
	Poutres à treillis	
8	Dalles	22
	Disposition des conduites	
	Types de dalles	
9	Assemblages et joints de poutres	24
	Nœuds entre poutres et poteaux en profilés	
	Assemblages de poutres	
10	Façades	26
11	Ossature à cadres	27
	Cadres avec poutres en porte-à-faux	
	Cadres à poteaux continus	
	Ossature à cadres spatiaux	
12	Protection incendie	30
	Mesures de protection actives	
	Mesures de protection constructives	
	Applications des mesures protectrices	

III Application architecturale

13	Bâtiments à ossature	32
14	Treillis et façade	33
15	Treillis spatiaux	34
16	Losanges et diagonales	35
17	Structures en forme de champignons	36
18	Plier et courber	37
19	Aides à la conception et bases de calcul	38

Centre de compétence en construction métallique

Le Centre suisse de la construction métallique SZS est une organisation professionnelle qui réunit les entreprises de construction métallique et les bureaux d'études les plus importants de Suisse. Par ses actions, le SZS atteint un large public d'architectes, ingénieurs et maîtres d'ouvrage. Le SZS met à disposition des informations techniques, encourage la recherche et la promotion de l'architecture en acier et s'engage dans la collaboration technique au-delà des frontières. Ses membres profitent d'une vaste palette de prestations.

Steeldoc est la documentation d'architecture du Centre suisse de la construction métallique. Elle paraît quatre fois par année en allemand et en français. Les éditions spéciales à orientation technique comme la présente sont également édités dans une série spéciale.

Stahlbau Zentrum Schweiz
Centre suisse de la construction métallique
Centrale svizzera per le costruzioni in acciaio

www.szs.ch

Editorial



Construire en acier est un processus progressif. Dès les premiers pas, il faut penser à la structure porteuse, à des portées et à des distances entre poteaux. Car ici, tout est assemblage. Une fois une trame choisie, on conçoit une ossature stable, composée de poteaux, de poutres et de contreventements, et qui servira de support aux planchers, aux murs et à l'enveloppe du bâtiment. Aussi simple que ce processus puisse paraître, le choix des éléments est bien plus difficile si on ne connaît pas leur façon de fonctionner. Car il existe des poteaux, des poutres et des planchers de toutes sortes et de toutes dimensions qui, assemblés, devront composer un tout. L'assemblage des éléments ne définit pas seulement le système porteur mais l'espace lui-même. Ce que les anciens Grecs appelaient «tektonik» était l'art d'assembler les éléments porteurs et les éléments qui délimitent l'espace en un ensemble nommé architecture.

Le présent numéro de Steeldoc est un cahier spécial consacré à la technique. C'est une première édition de ce genre, sur le thème: concevoir et construire en acier. L'introduction fait le point sur les possibilités qu'offre le matériau acier à la création architecturale – hier et aujourd'hui. Le texte s'appuie en grande partie sur un article plus fouillé de la plume d'Alois Diethelm, paru dans le manuel «Architektur Konstruieren» d'Andrea Deplazes publié aux éditions Birkhäuser. La deuxième partie est consacrée aux fondements de la conception, c'est-à-dire la structure porteuse, les éléments de construction et leur assemblage ainsi que la protection contre l'incendie. Elle donne un aperçu des principes de la construction métallique et montre les détails les plus courants. En annexe, une bibliographie permet d'approfondir le sujet. Diverses sources ont servi de base à cette partie dont, en particulier, l'ouvrage «Conception des charpentes métalliques» de Manfred A. Hirt et Michel Crisinel (EPFL), ainsi que diverses publications du SZS. Dans une troisième partie sont présentés des exemples de réalisations architecturales illustrant divers aspects de la construction métallique. Les textes sont également dus en grande partie à Alois Diethelm, tirés de l'ouvrage déjà mentionné, complétés par des illustrations récentes.

Cette édition est conçue pour servir à la conception d'ouvrages en acier. Elle est destinée à montrer les principes de la construction métallique et à inciter à la découverte de nouvelles possibilités de son utilisation dans l'architecture. Car «tout matériau ne vaut que par ce que l'on en fait» comme disait déjà Mies van der Rohe. A nos lecteurs, nous souhaitons une étude agréable et stimulante des pages qui suivent.

Evelyn C. Frisch

1 Introduction

Evelyn C. Frisch

Depuis toujours, la construction métallique a été étroitement liée à l'art de l'ingénieur et a trouvé un langage architectural propre. Jetant un regard sur l'histoire de l'architecture, on peut affirmer à juste titre que l'acier l'a révolutionnée. Aucun autre matériau de construction n'a exercé une influence aussi radicale sur la forme des ouvrages et n'a conféré aux structures porteuses une expression plus pure. La réduction intelligente à l'essentiel était le point de départ des Modernes. Dans les années 1950, elle a atteint un nouveau sommet avec le structuralisme américain. L'acier était le matériau idéal pour un nouveau type d'ouvrages de grandes dimensions tels les halles, les gares ou les grands magasins. Alors que les Modernes et l'âge industriel ont conduit à une standardisation des formes, l'art de l'ingénieur a insufflé une nouvelle élégance aux structures.

Aujourd'hui, la construction métallique signifie high-tech, économie de matière, construction intelligente et forme élégante. Elle est en relation beaucoup plus étroite avec l'art de l'ingénieur que les autres modes de construction. En construction métallique, la distribution des efforts est à la base de la conception. Aussi, l'art de construire en acier se manifeste principalement dans la construction de ponts, de halles et de toitures aux portées imbattables ou aux formes complexes. La collaboration entre différents matériaux, anciens ou nouveaux, comme le verre, les matières synthétiques, le bois ou le béton, vise l'utilisation optimale des propriétés de ces matériaux. Ingénieurs comme architectes, loin de se limiter à l'utilisation d'un seul matériau, sont toujours à la recherche de nouveaux défis dans le choix des solutions. Pour la construction métallique, la synergie entre les deux disciplines est de toute première importance. D'innombrables exemples récents attestent la virtuosité des ouvrages conçus avec la collaboration des ingénieurs.

La construction métallique et celle en bois ont quelques points en commun: la légèreté des structures avec ses

avantages économiques et écologiques, ainsi que les problèmes de protection incendie et la durabilité du matériau. En comparaison avec le bois, l'acier peut se prévaloir d'avantages tels que la résistance élevée des sections et les techniques d'assemblage qui le prédestinent à la réalisation d'ouvrages originaux de grandes dimensions. La protection incendie des structures en acier est aujourd'hui beaucoup plus simple qu'il y a quelques années. Les nouvelles prescriptions ouvrent la voie à des solutions où la présence de sprinklers est prise en compte. D'autre part, les peintures intumescentes qui protègent l'acier de la chaleur en cas d'incendie sont désormais valables des points de vue esthétique et économique.

Nombre de concepteurs considèrent encore l'acier comme un matériau consommant beaucoup d'énergie. Pourtant, de nombreux progrès ont été accomplis dans ce domaine dans les 40 dernières années. Aujourd'hui, en Europe, l'acier provient à raison de 90 % de matériaux recyclés et il est traité par énergie électrique. Ceci en fait un matériau de premier choix en matière d'économie des ressources. Ces arguments permettent à la branche de se justifier en matière d'écologie. Le développement du recyclage des éléments de construction en acier et de la ferraille ainsi que leur revalorisation à l'aide d'énergies renouvelables et générant peu de gaz carbonique, constituent les indices les plus importants de développement durable dans la production d'acier. La construction en acier permet une mise en œuvre rapide et efficace, une durée de vie importante et une démolition dans le respect de l'environnement. Considérant sa durée de vie totale, un ouvrage en acier supporte la comparaison avec les autres modes de construction. Leur utilisation flexible est déjà garante de leur longue durée de vie. Sur ce dernier point, toutefois, le facteur le plus important pour le développement durable est la qualité architecturale du bâtiment. Car, «un bâtiment vit aussi longtemps qu'il est aimé» disait l'architecte Jean Nouvel, et l'histoire de l'architecture lui donne raison.



Virtuosité du geste: la coupole de la bibliothèque juridique, Université de Zurich (Santiago Calatrava), 2003



Construction multiétagée: La tour de la foire de Bâle (Morger & Degelo), 2002

2 Acier - du matériau à l'ouvrage

Alois Diethelm

■ Transformation d'un matériau

Au cours de l'industrialisation, l'acier a d'abord trouvé son application dans le domaine de la construction de machines, de véhicules et de navires. Puis il a donné naissance à des formes architecturales inimaginables auparavant. Dans l'architecture des années 1920, en particulier dans le contexte du mouvement moderne Neues Bauen en Allemagne, ceci a conduit à une «esthétique de machines», à une logique d'ingénieurs aboutissant au minimum nécessaire. Ainsi, en 1923, Le Corbusier pouvait écrire dans *Vers une architecture*: «Les ingénieurs font de l'architecture, car ils emploient le calcul issu de la nature, et leurs oeuvres nous font sentir l'harmonie.»

Cette «esthétique de machines» se référait surtout au style, car la construction des maisons était rarement conçue comme une production en série et ainsi les aspects de montage et de démontage ou des sollicitations dynamiques demeuraient secondaires. Le recours à un seul matériau – caractéristique pour la production de machines et de véhicules – est éloigné de l'univers de la construction. Ouvrages massifs ou à ossature constituaient, déjà dans les cultures archaïques, les deux formes possibles de la construction (cavernes ou tentes) et sont encore de nos jours les deux pôles entre lesquels le bâtiment évolue. Cette dualité historique explique pourquoi l'apparition d'un nouveau matériau, comme l'acier, ne provoque pas un bouleversement en profondeur mais conduit plutôt à des transformations et à des associations. Ainsi, par exemple, le béton armé a d'abord appliqué les principes de la construction en bois par les poteaux et poutres en béton, avant l'apparition des dalles. De même, dans le cas de l'acier, les colombages métalliques de la fabrique de chocolat Menier (1871/72) de Jules Saulnier ne diffèrent de ceux en bois que par leur section plus réduite. A la même époque, les nervures de la coupole de la Bibliothèque Nationale à Paris (1875) d'Henri Labrouste rappellent l'architecture gothique en pierre.

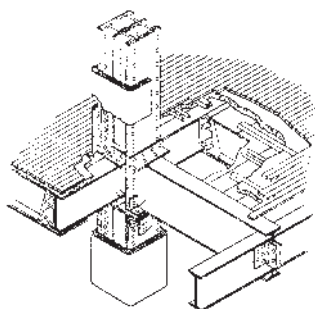
Dans ce contexte de tension entre construction massive ou à ossature, l'acier a donné naissance à une forme mixte où l'autre matériau n'est plus un simple remplissage sans fonction statique – comme dans le cas des maisons à colombages – mais participe, à part égale, à la structure porteuse. On se réfère ici à une combinaison de l'acier et du béton où l'acier continue à former une ossature de poteaux et de poutres mais où la solidité nécessaire de l'ouvrage est obtenue par une association avec le béton. Dans un rapport alterné, les deux matériaux se complètent; des poutres en acier remplacent – par exemple – celles en béton ou des tôles nervurées fonctionnent à la fois comme coffrage et armature. Des arguments statiques et physiques plaident pour ces constructions dites mixtes acier-béton. Les dalles bénéficient d'une répartition plus uniforme des charges et leur participation à la portance des poutres contribue à la rigidité et à une hauteur plus réduite de la structure. Par sa masse, le béton apporte une bonne isolation phonique et améliore surtout la résistance au feu. Comme celle des profilés en acier est calculée sur la base du rapport entre la surface non protégée et celle de la section, les parties où l'acier et le béton sont en contact, diminuent la surface exposée au feu. En outre, le béton, par sa teneur en eau, ralentit dans une mesure importante l'échauffement des éléments de construction.

En raison de ses avantages mentionnés et de sa mise en oeuvre rationnelle, la construction mixte acier-béton s'est imposée, en particulier pour les immeubles commerciaux et industriels à étages. Considérant l'association de divers matériaux comme une complémentarité, on découvre une fonction essentielle de l'emploi de l'acier dans l'architecture. Cependant, de nombreux édifices – particulièrement des ouvrages d'ingénieur à grande portée – sont prédestinés pour la construction pure en acier et peuvent renoncer à l'assistance du béton.

Revêtement protecteur du poteau en acier avec du ciment, construction mixte de la dalle. William LeBaron Jenney: Fair Store, Chicago, 1890

Parenté de la construction métallique et celle en bois. Jules Saulnier: Chocolaterie Menier, Noisiel (France), 1872

Traduction d'une structure de pierre en une structure en fonte. Henri Labrouste: Bibliothèque Nationale, Paris, 1875



■ Nouvelles dimensions

Avant même l'apparition du béton armé, les excellentes propriétés mécaniques de l'acier avaient permis la construction de bâtiments plus élevés. Comparés à des édifices en pierre ou en bois, les bâtiments à structure en acier ont vu leur hauteur d'abord augmenter de quelques étages puis, par la suite, se multiplier. L'acier a ainsi créé la condition préalable à la construction d'un type de bâtiment entièrement nouveau: l'immeuble tour, dont le plan est marqué par des cages d'escaliers et d'ascenseurs nécessaires au transport rapide du nombre désormais accru d'utilisateurs vers leur destination. En ce qui concerne les façades, grâce à des portées plus importantes, la construction métallique a autorisé des fenêtres plus grandes, comme ceci a été démontré de façon impressionnante dans la deuxième moitié du XIXe siècle à Chicago. Peu importe si l'ossature métallique est laissée apparente ou si elle est dissimulée derrière un enrobage, les fenêtres s'étendant du sol au plafond et de poteau à poteau révèlent sans équivoque la présence d'une structure en acier.

A côté de cela, d'autres édifices ont vu le jour dont seules les dimensions trahissent le recours à des technologies nouvelles. Enveloppées d'un manteau en pierre avec des trous en guise de fenêtres, les façades de ces bâtiments à ossature ne pouvaient pas être distinguées des édifices massifs. Les praticiens de la construction industrielle en vinrent rapidement à considérer l'acier, en particulier dans le cas de bâtiments élevés, comme matériau de remplacement de la pierre et du bois, dont la résistance touche à ses limites à partir d'une certaine hauteur. Par la suite, l'acier en vint aussi à remplacer des éléments en béton, dont la réalisation aurait exigé trop de matériau ou de travail. Le report des principes de la construction en bois, à savoir des poteaux élancés et raidis, vers la construction métallique s'est répandu davantage dans les régions pauvres en bois. Or, les structures utilisant les sections composées de tôles minces présentent des avantages évidents par rapport aux structures en bois: elles sont robustes et



Nouvelles dimensions des ouvertures: Louis Henry Sullivan: Schlesinger & Mayer Department Store, Chicago, 1904

demandent peu d'entretien, ne se déforment pas et pèsent moins. Ces qualités les prédestinent à la surélévation des bâtiments où leur poids réduit a toute son importance, mais restent également précieuses dans le cas de nouveaux bâtiments.

Dans le cas des grandes portées, la construction métallique occupe toujours une position dominante, presque exclusive. La toiture de vastes espaces, comme par exemple les aéroports et les halles d'exposition, est presque exclusivement réalisée en acier. L'articulation fine de ces structures porteuses devient un motif spécifique et crée par là un langage formel réservé à la seule construction métallique. S'il s'agit d'édifices à niveau unique, dans la plupart des cas ils n'ont pas besoin de revêtement de protection incendie; au besoin, des sprinklers et une peinture protectrice seront employés pour ne pas nuire à l'apparence du matériau de construction, l'acier.

La structure porteuse en acier disparaît derrière l'enduit. Wassili et Hans Luckhardt: Maison au Rupenhorn, Berlin, 1928



Ossature en acier associée au béton coulé sur place. Roland Rohn: Usine BBC, Baden, 1952

Structure en acier dissimulée derrière un mur. Diener & Diener: Vogeschule, Bâle, 1994



■ Sections minces – vers la maison en verre

Si, dans le cas des immeubles tours, la section des poutres et poteaux en acier pouvait porter bien davantage et permettait des portées plus importantes, les protagonistes du mouvement Neues Bauen ont trouvé dans l'acier un moyen de réaliser des constructions plus élancées. Pour économiser le matériau et réduire son poids, on a souvent placé des plaques légères non porteuses entre les poteaux minces et on les a enduites des deux côtés, y compris les poteaux eux-mêmes. Les bâtiments souvent détachés du sol, avec des fenêtres au ras des façades, suggéraient l'image de corps abstraits, sans pesanteur. L'ossature en acier de ces bâtiments «légers» n'apparaissait que ponctuellement. «Léger» est pris, ici, dans les deux sens: au sens physique, signifiant une optimisation dans l'usage du matériau, mais aussi au sens visuel. Ainsi, l'acier servait la rationalisation de la construction en même temps qu'il a conduit à une architecture puriste et dans une large mesure dématérialisée. Le contour caractéristique des profilés métalliques composés d'une âme et de deux ailes et l'ossature sont restés cachés derrière un revêtement extérieur et intérieur; l'emploi de l'acier ne se manifestait que par une silhouette élancée de la construction. Grâce à cela, comme à la Lovell House (1927 – 1929) de Neutra, les poteaux ne se détachent pas du cadre des fenêtres et permettent un vitrage de grandes dimensions et des fenêtres en bandeaux, qui, apparemment, n'ont même pas besoin d'être fixées à une structure porteuse.

Le Crystal Palace (1851) de Paxton indiquait déjà que la combinaison avec le verre était un moyen d'expression important de la construction en fer, puis en acier. Les poutres gracieuses en treillis et les vitres enchâssées entre de minces baguettes de métal ont assuré un éclairage qui aurait été impensable dans le cas d'une exécution en bois. 150 ans après Paxton, la maison en verre représente encore – comme aucun autre type de construction – un défi pour les architectes. Si l'on observe les projets les plus récents des architectes de différentes tendances, il apparaît que,

en ce début du XXI^e siècle, le verre est libéré des combats de tranchées idéologiques des années 1990 (Berlin en pierre!) et n'est plus l'expression d'une seule conception architectonique. C'était une vision encore utopique dans le cas du projet de Mies van der Rohe pour un immeuble tour à la Friedrichstrasse (1922), mais l'industrie du verre a rapidement mis sur le marché des baies de grandes dimensions sans croisillons répondant au désir de parois quasiment dématérialisées.

La plupart de ces maisons en acier et verre n'étaient habitables qu'en recourant à des installations coûteuses de chauffage et de climatisation. Dans les années 1980, après la crise du pétrole et en raison d'une prise de conscience écologique plus aigüe, il ne semblait plus y avoir d'avenir pour la maison de verre. Aujourd'hui, il existe des conceptions énergétiques alternatives selon lesquelles le verre est utilisé comme collecteur pour la récupération de la chaleur du rayonnement solaire. Les architectes étant disposés à apporter une protection extérieure contre le soleil, et grâce à des verres dont le coefficient d'isolation peut atteindre une valeur de $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, la maison en verre est, plus que jamais, d'actualité. Le verre hautement isolant a rouvert un champ qui paraissait déjà abandonné, celui de l'ossature d'acier visible de l'intérieur comme de l'extérieur. La couche isolante recouvre alors le bâtiment comme un voile transparent et nous approche de ce que Mies van der Rohe appelait une architecture de peau et d'os, mais que lui-même, pour des raisons techniques, n'a pas pu réaliser au degré où c'est aujourd'hui possible.

Le remplissage de l'espace entre les poteaux par des panneaux ou des fenêtres a marqué l'Immeuble Clarté de Le Corbusier à Genève, tout comme de nombreux bâtiments industriels de la première moitié du XX^e siècle. Aujourd'hui, en raison d'exigences thermiques, ce remplissage entre poteaux laissés apparents n'est plus possible sans autre. Car, à l'opposé du bois, bon isolant thermique, l'acier est conducteur de la chaleur. Toutefois, il faut noter que les profilés visibles en façade de bâtiments in-

Les fenêtres sont placées dans l'ossature en acier comme des panneaux. Le Corbusier & Pierre Jeanneret: Immeuble Clarté, Genève, 1932

Les poteaux en acier ne se détachent guère du châssis des fenêtres. Richard Neutra: Lovell House, Los Angeles, 1927 – 1929

La maison en verre est un thème récurrent au XX^e siècle. Ludwig Mies van der Rohe: Farnsworth House, Plano (USA), 1945 – 1950





Transparence maximal et consommation minimale d'énergie: Maison d'habitation de Werner Sobek, Stuttgart 2003

dustriels font souvent partie d'une structure secondaire laquelle ne porte que le revêtement (une paroi en briques, par exemple). Dans ce sens, les divisions de la façade indiquent souvent une structure porteuse qui se trouve immédiatement derrière elle. Remplissage et revêtement forment aussi une unité lorsque la dimension des éléments correspond à la trame de l'ossature. Si les poutres et poteaux de cette dernière sont recouverts, on a répondu à l'attente selon laquelle le mode de construction choisi doit marquer l'aspect du bâtiment.

■ Préfabrication et tout devient possible

La préfabrication a marqué la construction métallique. Dans l'atelier de l'entrepreneur, les profilés sont sciés, coupés, percés et parfois incurvés; d'autres éléments sont découpés dans les tôles et soudés pour former des poutres. Pui, des éléments de raccord sont soudés et pour finir la protection contre la corrosion est appliquée. Pour le

montage sur le chantier, l'assemblage boulonné est préféré car les conditions ne sont pas optimales pour le soudage, et les ajustements durant le montage pourraient endommager la protection contre la corrosion (couche de phosphate de zinc avec couche de finition éventuelle ou zingage à chaud). Ce procédé permet en même temps un démontage facile, ce qui peut expliquer le recours fréquent à la construction métallique pour les bâtiments temporaires.

La préfabrication n'influence pas seulement la structure porteuse mais aussi son enveloppe. Le potentiel des tôles minces munies d'un revêtement d'usine est lié à la possibilité d'obtenir, par pliage et courbage, une stabilité que d'autres matériaux ne peuvent atteindre que par des raidisseurs et supports surajoutés. La mise en forme par laminage ou par pliage est une opération effectuée en usine par des machines ; toutefois, elle est suivie d'opérations ultérieures, par exemple : découpage, pliage, courbage, soudage et des traitements complémentaires de surfaces. La préfabrication simplifie le déroulement des travaux de construction, abrège la durée des chantiers et permet la production de grandes séries. Les panneaux de façade sont livrés sur le chantier comme des unités fonctionnelles toutes prêtes ou bien ils y sont assemblés dans le cadre d'une préfabrication partielle (préfabrication par couches).

La construction en acier est donc, dans une large mesure, une fabrication en usine. C'est aussi la raison qui explique la recherche précoce de la normalisation, que ce soit au niveau d'un seul ouvrage ou par le développement de tout un système de construction, comme USM Haller, par exemple. Dans le premier cas, la répétition permet seulement une fabrication avantageuse ; dans le second cas, les éléments sont interchangeables et permettent des extensions. En outre, le système de construction n'est pas lié à un type de bâtiment spécifique.

Les soudures réalisées à la main nécessitent un solide savoir-faire professionnel; Appareil d'oxycoupage à commande numérique CNC; Pose d'un panneau sandwich préfabriqué.



■ Plasticité et ornement

D'une part, la construction métallique recourt souvent à une structure orthogonale; d'autre part, elle peut aussi créer des volumes de forme quelconque par l'assemblage de barres. Comme un dessin linéaire, les volumes tridimensionnels, comme ceux de l'architecte Frank Gehry, sont décomposés en barres droites ce qui permet de réduire les déformations concaves ou convexes ainsi que les torsions et les réductions à une forme simple et économique. Comme les barres qui dessinent la forme complexe ne suivent pas partout le flux des efforts, des éléments supplémentaires de compression et de traction doivent être ajoutés, lesquels se mélangent au Balloon Frame derrière le voile d'un revêtement homogène. Compte tenu des critères économiques, une telle souplesse est impensable avec un autre matériau. Que l'on pense seulement au coffrage du béton, coûteux et utilisable une seule fois. L'acier se révèle donc être le matériau qui rend tout possible. Avec l'aide de l'informatique dans la conception et la fabrication, des formes architectoniques nouvelles voient le jour qui rendent caduques nos idées reçues sur la sculpture et la pesanteur. Grâce à l'informatique, les formes orthogonales ne sont plus la condition par excellence d'une structure économique et de «nouveaux» espaces pour des musées et des salles de concert sont rendus économiquement possibles.

A la souplesse ludique et à l'ordre cartésien, il faut encore ajouter un troisième élément: la diagonale, soit le poteau oblique. La toute récente redécouverte des diagonales ne semble rien devoir au hasard. Après le minimalisme réducteur des années 1990 et, suite à un soudain mouvement de libération, l'opulence tendant au rejet de toute limite a préféré les structures porteuses s'écartant de l'orthogonal et a voulu associer l'objectivité à une nouvelle joie à la décoration. Jadis, les structures métalliques étaient décoratives grâce à leurs assemblages rivetés que leur nécessité technique a fait accepter par les puristes mêmes.

En ce début du XXI^e siècle, la structure métallique et l'ornementation constructive se rejoignent de nouveau. Au centre de l'attention, cependant, ce ne sont pas les assemblages mais les structures elles-mêmes qui se libèrent de la domination de l'angle droit et, pour des raisons statiques, économiques et architectoniques (constructions élancées), sont réalisées surtout en acier. Ces structures n'ont pas besoin de posséder un caractère ornemental à l'état de gros-oeuvre, mais elles peuvent inspirer les éléments de finition. On entend par là la saisie d'une forme conditionnée par la structure, laquelle par la suite change d'échelle dans la façade et, répétée, sera perçue comme un ornement.

A titre d'exemple, mentionnons deux édifices récents dont la façade a des ouvertures en forme de losanges et où la structure porteuse est formée de poteaux inclinés. A première vue, les deux se ressemblent. Dans le cas de l'Epicer Store de Prada à Tokyo (Herzog & de Meuron, 2003), l'articulation fine de la façade correspond à la trame de la structure porteuse derrière elle, alors que dans le cas de la Swiss Re Tower à Londres (Norman Foster, 2004), elle en est une réduction. Dans le premier cas, un étage comprend deux losanges en hauteur, alors que dans le second, un seul losange de la structure s'étend sur quatre étages. Dans les deux cas, la grille de la façade constitue un corset rigide lequel dispense le noyau de la fonction de raidisseur. Les formes irrégulières peuvent être obtenues par d'autres voies que des structures spécifiques dont l'ossature a besoin d'une enveloppe: losanges et triangles constituent une alternative au module orthogonal conventionnel. *

* Cet article est basé sur un texte de l'auteur paru dans le manuel «Architektur Konstruieren» (voir bibliographie) et il a été adapté et mis à jour par la rédaction.

Derrière les volumes sculptés se trouve une ossature métallique. Frank O. Gehry: Musée Guggenheim, Bilbao, 1997

Les formes mouvementées sont traduites en une grille linéaire. Frank O. Gehry: Musée Guggenheim, Bilbao, 1997

La taille des losanges est adaptée à la forme du bâtiment. Foster & Partners: Swiss Re Tower, Londres, 2004

Structure porteuse et articulation du vitrage sont identiques. Herzog et de Meuron: Epicenter Store Prada, Tokyo, 2001



3 Le matériau de construction

■ Propriétés de l'acier de construction

L'acier, comme matériau de construction, se distingue par un comportement élastique avec une résistance et une rigidité élevées. Ainsi, l'acier supporte des contraintes très élevées à la traction comme à la compression, jusqu'à sa limite d'élasticité.

Si, lors de sollicitations en traction, en compression ou en flexion, la limite d'élasticité est dépassée, l'acier se comporte de manière plastique. Il en résulte trois atouts: liberté de choix dans les formes, réserve de résistance grâce à un rééquilibrage des contraintes entre les éléments, un comportement accommodant sans fissures en cas de surcharge. Après de telles sollicitations, l'acier se comporte de nouveau de façon élastique.

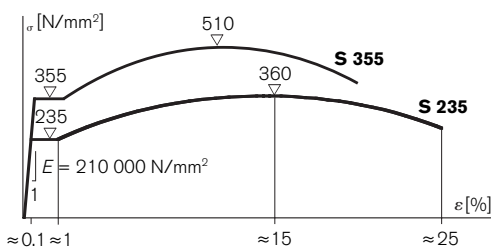
Grâce à des procédés de fabrication industriels strictement contrôlés, le matériau acier possède des propriétés uniformes. L'acier est facile à travailler de diverses manières: débité par sciage, cisaillement ou oxycoupage, les éléments peuvent être poinçonnés, percés, bordés, enroulés ou courbés, assemblés par différents procédés de soudage, meulés et munis d'une couche protectrice.

Le comportement à la corrosion de l'acier est favorable par le fait qu'il rouille lentement et bien visiblement sur la surface; divers traitements confirmés de protection contre la corrosion sont à disposition.

En raison de la conductivité thermique élevée de l'acier, les ponts thermiques ne peuvent pas être négligés et, bien que l'acier ne soit pas combustible, il perd de sa résistance à température élevée, d'où la grande importance de sa protection contre l'incendie.

Les avantages écologiques de l'acier, matériau robuste et entièrement recyclable, sont décisifs: il admet de nombreuses réutilisations sans perdre de ses qualités et s'adapte sans problème à des applications nouvelles.

Diagrammes contrainte-déformation des aciers S 235 et S 355, avec limite d'élasticité de, respectivement, 235 et 355 N/mm²



■ Avantages de la construction en acier

La construction métallique offre d'importants avantages pour la conception, la réalisation et l'utilisation:

- grande liberté grâce aux structures filigrans et légères
- qualité constante du matériau et détails de construction standardisés
- utilisation optimale de l'espace grâce aux grandes portées et aux sections réduites des éléments
- structures porteuses aérées et tolérances réduites facilitant la mise en place des installations techniques et des éléments du second-œuvre
- facilité d'adaptation aux changements d'affectation grâce à des assemblages démontables et à l'intégration de nouveaux éléments et installations
- grand choix de couleurs grâce aux revêtements protecteurs contre la corrosion et l'incendie
- économies importantes grâce au poids réduit de la structure et à des fondations minimales
- chantier sec et peu bruyant, ne nécessitant qu'un espace réduit
- montage rapide, indépendant des conditions atmosphériques
- écologie exemplaire: valeur de recyclage élevée, possibilité de démontage, réutilisation

Grandes portées

Les structures à planchers en acier permettent des grandes portées avec peu de poteaux intermédiaires et, par là, une division flexible de l'espace. Avec l'accroissement de la portée, la hauteur de la poutre et/ou l'épaisseur des ailes doivent être augmentée. La grande portée des planchers mène à un système de poutres à deux, voire trois niveaux superposés. Par la combinaison de divers types de poutres, on recherchera une solution optimale.

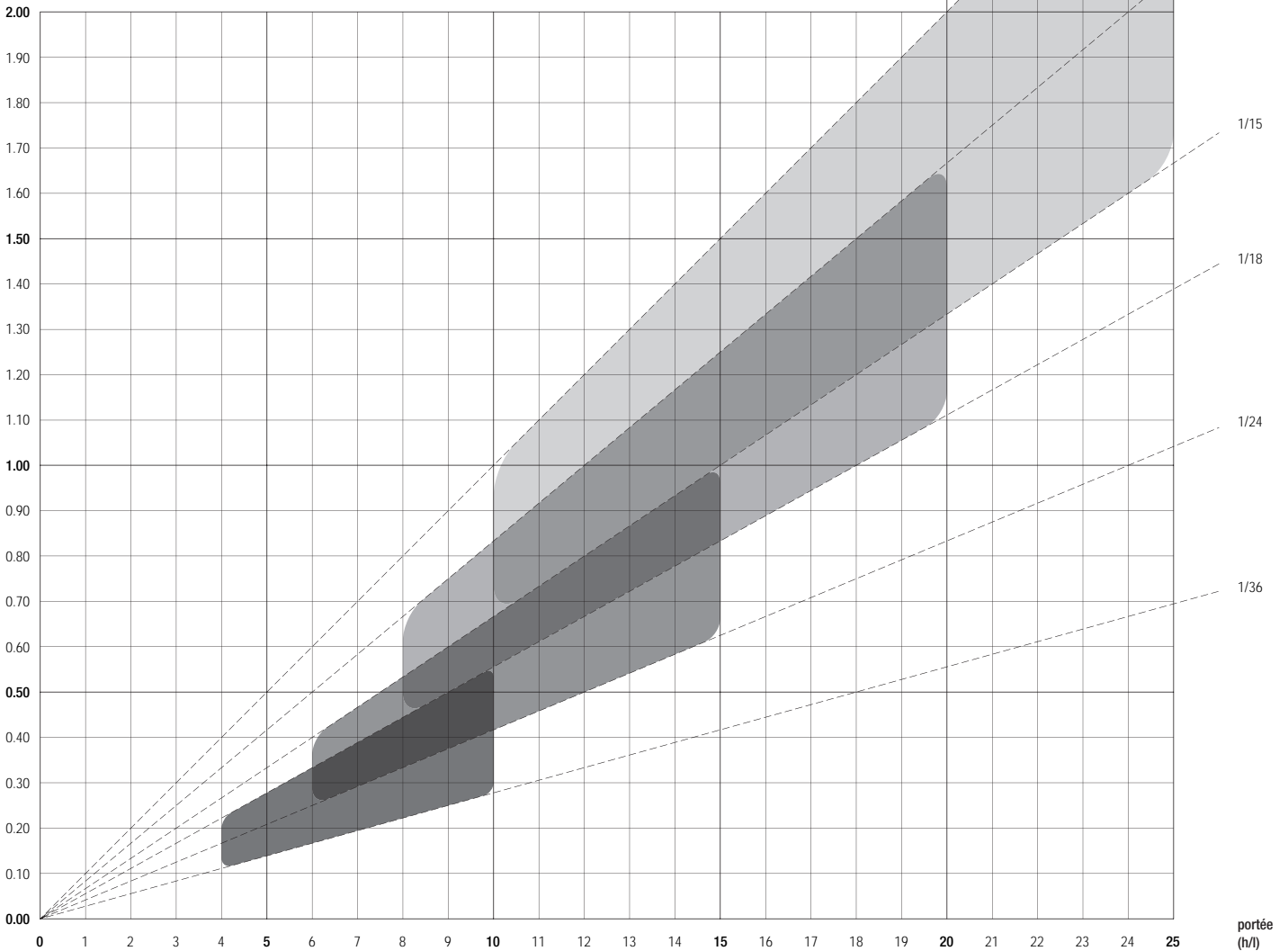
Centre de culture et de congrès à Lucerne (Jean Nouvel), 1999. Porte-à-faux: 35 m, en diagonale: 45 m. Hauteur des poutres: 3,7 m au maximum.







■ Prédimensionnement des poutres en acier

Estimation des dimensions des éléments lors de la conception

hauteur de l'élément (m)



domaine d'utilisation	Élément porteur	portée (m)	h/l
	Profilés IPE, HEA	– 10 m	1/18 – 1/36
	Profilés IPE, HEA, HEB	6 – 15 m	1/15 – 1/24
	Poutres alvéolaires IPE, HEA, HEB Poutre composée à âme pleine	8 – 20 m > 12 m	1/12 – 1/18
	Poutres à treillis	> 10 m	1/10 – 1/15

Prédimensionnement des poutres en acier

Il faut choisir une hauteur importante pour des poutres simples fortement chargées; une hauteur faible convient aux poutres continues faiblement chargées ainsi qu'aux poutres mixtes où la dalle en béton contribue à la résistance de l'ensemble. Autres éléments intervenant dans le choix de la hauteur des poutres: type d'assemblage, conduites nécessaires, hauteur du bâtiment, surdimensionnement nécessaire à la résistance au feu, changements futurs dans l'utilisation.

Prédimensionnement des poteaux en acier

Les Tables de dimensionnement C4 du SZS permettent la définition directe des profilés pour les poteaux soumis à compression centrée, à condition que les forces agissantes et les longueurs de flambage soient connues.

(Source: M. Dietrich: Ecole d'ingénieur Burgdorf, 1990)

4 Les produits – formes et applications



■ Types de profilés



**Profilés à larges ailes
HEA, HEB et HEM**

En raison de leurs larges ailes, ces profilés conviennent également aux sollicitations excentrées (flexion simultanée selon les deux axes). Attention: la désignation du profilé ne correspond à la hauteur réelle de la section que dans la série HEB, par exemple HEB 200.



**Profilés normaux
INP et UNP**

Les profilés normaux sont un peu plus avantageux que ceux avec des ailes inclinées. Ceux-ci conviennent aux constructions soudées. Les profilés à ailes inclinées sont rarement employés pour les constructions boulonnées.



**Profilés avec ailes parallèles
IPE, UPE et IPET**

Les profilés IPE ont une section élancée et sont employés surtout comme poutres sollicitées en flexion (en raison de l'étréouissement de leurs ailes, ils conviennent moins comme barres comprimées). Les profilés UPE sont parfois employés par paires, ce qui évite les torsions provoquées par leur asymétrie. Les profilés IPE divisés en deux par l'entrepreneur (IPET) sont employés dans les treillis et comme croisillons dans les toitures vitrées. Les profilés UAP, semblables aux UPE, ne sont plus produits.



**Profils creux (carrés,
rectangulaires et ronds)**

Les profils creux sont utilisés principalement comme poteaux et pour des treillis, car ils sont idéals pour sollicitation centrée. Comparés aux profilés HEA, les profils creux ont une superficie légèrement plus réduite (moins à peindre). Leur diamètre extérieur reste le même, indépendamment de l'épaisseur de leur paroi (graduation invisible). On distingue entre profils usinés à froid (RRK, léger et avantageux) et ceux usinés à chaud (RRW, résistant mieux au flambage, épaisseur accrue dans les zones d'angle).

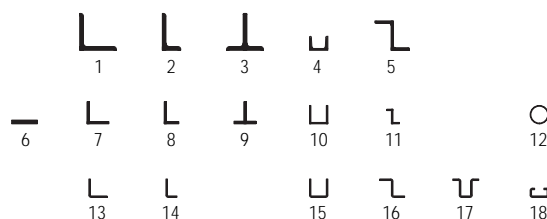


**Ronds et carrés RND
et VKT**

Les ronds et les carrés sont utilisés principalement comme tirants, dans le cas de larges sections aussi en compression, par exemple dans les poteaux mixtes (protection incendie).

Cornières et profilés à taille réduite

profilés courants pour des travaux de serrurerie (mains courantes, avant-toits, portes, fenêtres, etc.)



- 1 cornière – à bords arrondis, à ailes égales
- 2 cornière – à bords arrondis, à ailes inégales
- 3 profilé à section en T – à bords arrondis, âme élancée
- 4 profilé à section en U
- 5 profilé à section en Z – profilé normal
- 6 fers plats
- 7 cornière – à bords tranchants, à ailes égales

- 8 cornière – à bords tranchants, à ailes inégales
- 9 profilé à section en T – à bords tranchants
- 10 profilé en U (coulisse)
- 11 profilé à section en Z – à bords tranchants
- 12 tubes pour main courante
- 13 cornière – laminée à froid, à ailes égales
- 14 cornière – laminée à froid, à ailes inégales

- 15 profilé à section en U – laminé à froid
- 16 profilé à section en Z – laminé à froid
- 17 profilé à section en «chapeau» – laminé à froid
- 18 profilé à section en C – laminé à froid

Désignation	Dimensions minimales (h x b)			Dimensions maximales (h x b)		
Profilés à larges ailes						
HEA série légère	HEA 100	(96 mm x 100 mm)	16,7 kg/m	HEA 1000	(990 mm x 300 mm)	272,0 kg/m
HEB série normale	HEB 100	(100 mm x 100 mm)	20,4 kg/m	HEB 1000	(1000 mm x 300 mm)	314,0 kg/m
HEM série renforcée	HEM 100	(120 mm x 106 mm)	41,8 kg/m	HEM 1000	(1008 mm x 302 mm)	349,0 kg/m
Profilés normaux						
INP	INP 80	(80 mm x 42 mm)	5,9 kg/m	INP 550	(550 mm x 200 mm)	166,0 kg/m
UNP	UNP 65	(65 mm x 42 mm)	7,1 kg/m	UNP 400	(400 mm x 110 mm)	71,8 kg/m
Profilés avec ailes parallèles						
IPE	IPE 80	(80 mm x 46 mm)	6,0 kg/m	IPE 600	(600 mm x 220 mm)	122,0 kg/m
IPET	IPET80	(40 mm x 46 mm)	3,0 kg/m	IPET 600	(300 mm x 220 mm)	61,2 kg/m
UPE	UPE 80	(80 mm x 50 mm)	7,9 kg/m	UPE 400	(400 mm x 115 mm)	72,2 kg/m
Profilés creux						
RRW / RRK carré	RRW 40 x 40	(40 mm x 40 mm)	3,4 kg/m	RRW 400 x 400	(400 mm x 400 mm)	191,0 kg/m
RRW / RRK rectangulaire	RRW 50 x 30	(50 mm x 30 mm)	3,6 kg/m	RRW 400 x 200	(400 mm x 200 mm)	141,0 kg/m
ROR rond	ROR 21.3	(∅ 21.3 mm)	0,9 kg/m	ROR 813	(∅ 813 mm)	159,0 kg/m
Ronds et carrés						
RND	RND 10	(∅ 10 mm)	0,6 kg/m	RND 500	(∅ 500 mm)	1540,0 kg/m
VKT	VKT 10	(6 mm x 6 mm)	0,3 kg/m	VKT 200	(200 mm x 200 mm)	314,0 kg/m

■ Produits plats et autres profilés

Les produits plats (par exemple tôles) sont laminés. Ils sont livrés en largeur standard ou à la demande, les largeurs en stock sont en général limitées à 2000 mm. L'épaisseur atteint jusqu'à 100 mm pour les produits laminés à chaud et jusqu'à 3 mm pour les tôles laminées à froid. Celles-ci peuvent être mises en forme par profilage (tôles profilées pour les applications dans les domaines des planchers et des façades) et sont souvent galvanisées à l'usine et le cas échéant prélaqués.

Les produits plats sont souvent utilisés pour des constructions soudées à sections variées. La publication steelwork C5 «Tables de construction» du SZS contient une vue d'ensemble de tous les profilés usuels en Suisse. D'autres listes de profilés peuvent être téléchargées du site Internet de la Convention européenne de la construction métallique (www.steelconstruct.com) ou demandés auprès des marchands d'acier suisses (voir www.szs.ch).

5 Etude des structures porteuses

■ Structure du système porteur

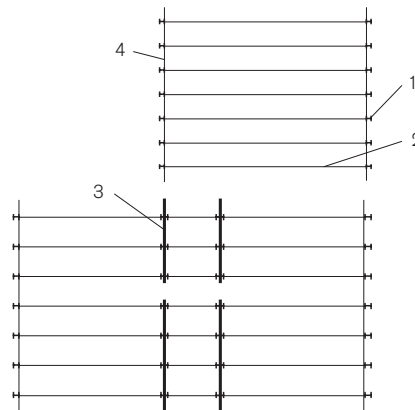
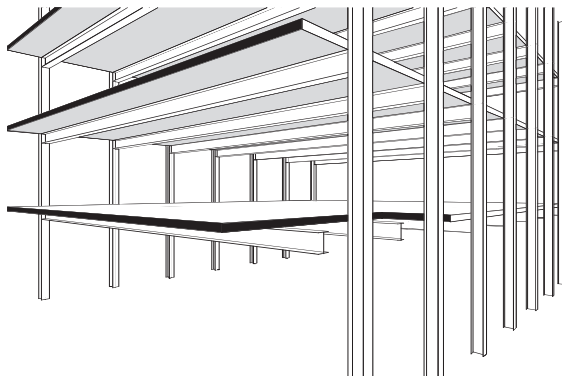
Le système porteur d'une construction métallique est composé de barres en acier qui forment l'ossature. Celle-ci a uniquement une fonction porteuse, pas celle de séparation d'espaces. Cependant, elle permet la fixation d'éléments qui, eux, ont cette fonction de séparation. En général, l'ossature est composée de poutres horizontales et de poteaux verticaux. Pour garantir la stabilité de l'édifice, s'y ajouteront, selon les besoins, des éléments stabilisateurs comme des diagonales, des cadres rigides ou des panneaux.

Le choix d'une trame déterminera la distance entre poteaux et poutres et les portées. Des portées entre 6 et 18 m sont économiques, allant dans des cas spéciaux jusqu'à 30 m. Dans les bâtiments à étages multiples, les poteaux sont situés normalement aux noeuds de la trame. Une

trame rectangulaire répond au mieux aux exigences d'une ossature en acier et permet la réalisation de constructions plus économiques qu'une trame aux champs carrés. Les trames à angles obliques sont également possibles. La trame de la structure porteuse est en relation mutuelle avec la trame secondaire des éléments séparateurs et les installations techniques. Elle est déterminée selon la fonction du bâtiment (charges, espaces libres destinés à l'utilisation, installations nécessaires) et des conditions cadres dictées par la fabrication, le transport et le montage des éléments.

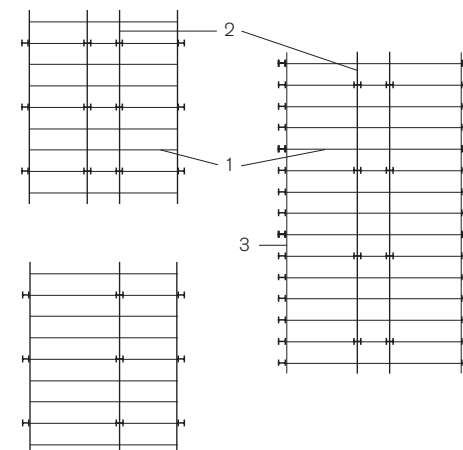
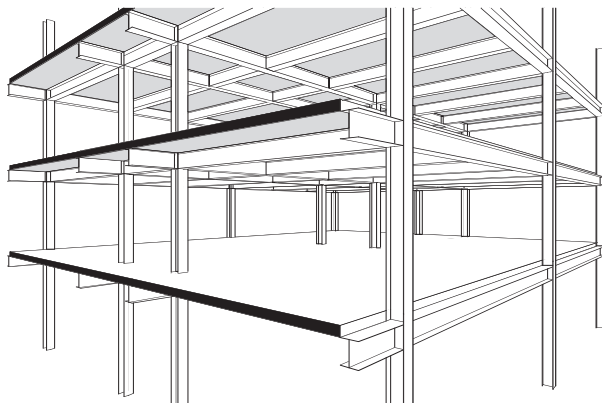
Trame de la structure dans un bâtiment à étages à un niveau de poutres

- 1 Poteau
- 2 Solive
- 3 Cloison
- 4 Bord de dalle



Trame de la structure dans un bâtiment à étages à deux niveaux de poutres

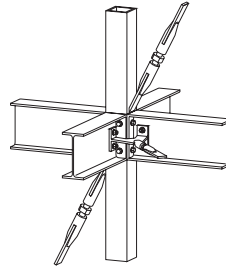
- 1 Solive
- 2 Sommier
- 3 Bord de dalle



(Plans: Conception des charpentes métalliques, EPFL)

■ Stabilisation des structures porteuses

Les différents éléments (poutres, poteaux, etc.) doivent être assemblés pour former une structure spatiale devant assurer la transmission des forces horizontales aux fondations et ainsi prêter au bâtiment sécurité, rigidité et stabilité. Les forces horizontales sont d'abord transmises par les planchers aux contreventements verticaux. Ces derniers sont formés de structures en treillis, de murs de refend ou de cadres rigides. En vue d'un comportement optimal en cas de séismes, ces éléments stabilisateurs doivent être disposés, si possible, de façon symétrique.



■ Choix des éléments de contreventement

Le genre de contreventement et leur disposition exercent une grande influence sur l'utilisation de l'espace et l'agencement des façades et, de ce fait, ils doivent être déterminés dès le début des études. Il est souvent avantageux de placer les éléments stabilisateurs dans les parois extérieures du bâtiment ce qui laisse toute liberté dans l'utilisation des surfaces. Les contreventements à treillis sont usuels en construction métallique, permettant d'ajuster la structure lors du montage. De toute façon, il faut tenir compte de la présence des noyaux centraux. Les cadres rigides sont principalement utilisés pour des bâtiments à un étage avec un maximum de liberté d'utilisation, mais ils sont plus passifs et donc plus chers.

Les différents éléments stabilisateurs sont favorables dans les cas suivants:

Contreventement à treillis

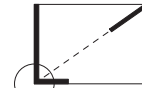
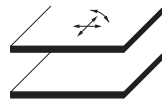
- dans le cas de treillis verticaux légers et à grande portée
- si les ascenseurs et les escaliers ont une structure ouverte ou sont prévus à l'extérieur de l'immeuble
- si le contreventement par les éléments massifs disponibles est insuffisant.

Murs et noyaux massifs

- s'ils sont suffisants à eux seuls
- s'il n'y a pas de place suffisante pour des treillis dans l'ossature

Contreventement par des cadres rigides

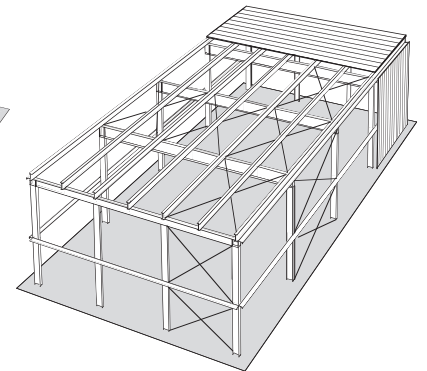
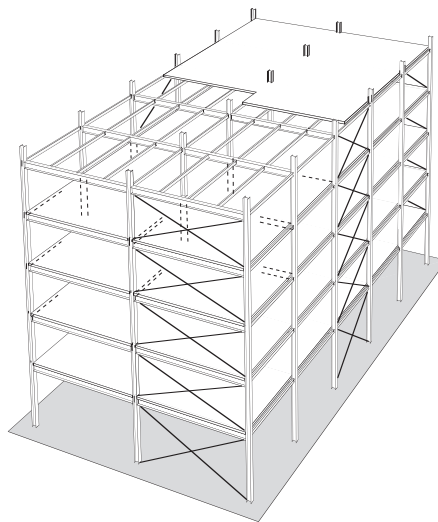
- si on attribue de l'importance à une transparence maximale
- en l'absence de murs porteurs
- dans le cas d'édifices de dimensions modestes, à un seul niveau



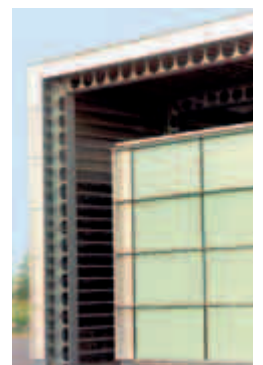
Risque de torsion!

Centre de cisaillement

Planchers d'un bâtiment à étages avec 3 degrés de liberté de déplacement. Éléments stabilisateurs verticaux, au moins 3 (ou mieux 4) dans un bâtiment à étages: variantes de disposition dans le plan des façades ou dans le noyau.

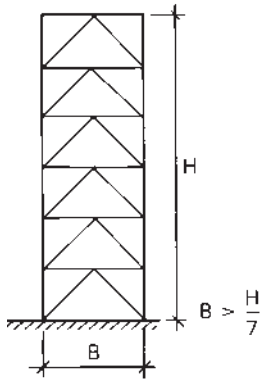


Disposition des contreventements d'un bâtiment à étages et d'une halle

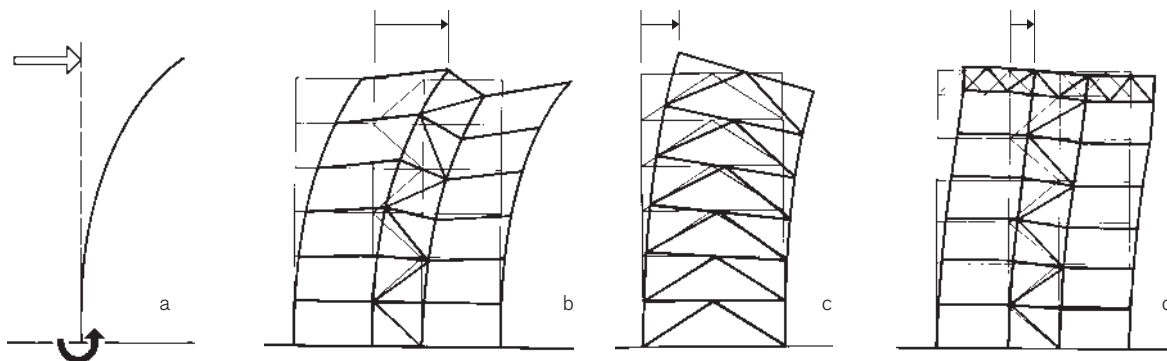


■ Comportement des contreventements à treillis

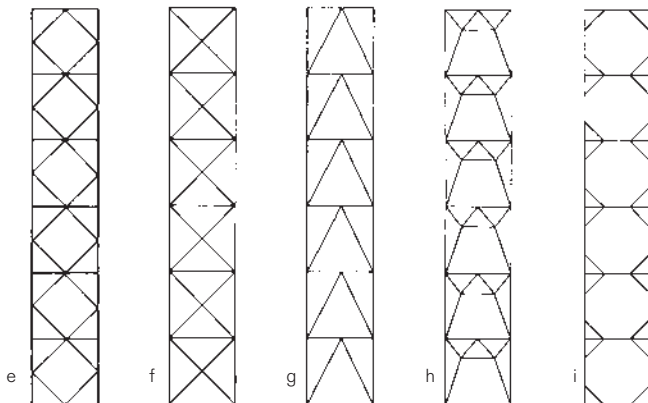
Statiquement, les contreventements verticaux sont des poutres fléchies, plus précisément des treillis en porte-à-faux encastrés dans le sol (a). Les contreventements étroits conduisent à d'importantes forces dans les barres. Les barres subissent des variations de longueur, engendrant des déformations (b). Les contreventements larges sont plus rigides et plus légers grâce à des efforts dans les barres moins importants (c). Une relation raisonnable entre hauteur et largeur du contreventement (1:5 à 1:7 au max.) permet des assemblages simples des barres tout en gardant une rigidité suffisante. La rigidité d'un contreventement étroit peut être nettement améliorée en introduisant une poutre à treillis horizontale disposée entre les poteaux de façade et agissant en forme de cadre rigide (d).



Contreventement vertical d'un immeuble à 8 étages, Arcelor à Esch (Luxembourg)



Comportement et rigidité des contreventements verticaux



Formes possibles des contreventements verticaux

Contreventements verticaux

- e) Losanges (longueur de flambage réduite)
- f) Croix (barres tendues élancées)
- g) Treillis en K
- h) Cadres à treillis (chers, à éviter)
- i) Cadres rigides (chers, à éviter)

Pour les barres de treillis tous les profilés qu'on peut employer pour les treillis boulonnés conviennent: tubes, cornières simples, doubles ou croisées, profilés à section en T, des profilés HEA, HEB, UNP, UPE.

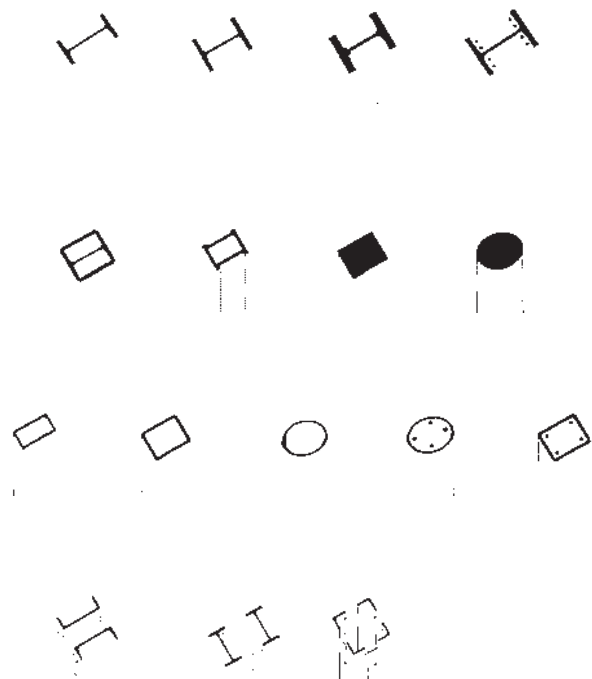
Pour des treillis à tirants croisés, on peut également utiliser des fers plats ou ronds, voire éventuellement des câbles; ces éléments ne reprennent que des forces de traction.

6 Poteaux

Les charges verticales d'un bâtiment sont reprises par des poteaux en acier et parfois par des murs en béton. Pour une distribution économique des poteaux, il faut disposer d'une vue d'ensemble. Selon l'utilisation du bâtiment, les poteaux intérieurs peuvent être considérés comme des obstacles. Pour cette raison, il faut opter pour une disposition qui n'entrave pas l'exploitation. Pour des raisons économiques, il faut choisir des sections aussi réduites et un espacement aussi grand que possible pour les poteaux intérieurs. Par contre, des poteaux rapprochés le long des parois extérieures représentent un avantage car ils peuvent être intégrés dans la façade sans y imposer des montants supplémentaires. En outre, ils offrent une possibilité de raccordement pour des cloisons intérieures.

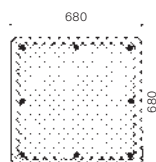
Les poteaux en acier ont, en général, une section beaucoup plus réduite que ceux en béton. Ils occupent peu de surface au sol, ce qui contribue à un rapport avantageux entre surface totale et surface utile. Pour les charges de 1120 kN ou 5600 kN (valeurs de dimensionnement), une comparaison entre les dimensions de poteaux en béton et en acier est donnée ci-contre. En y ajoutant des sections mixtes acier-béton de dimensions comparables, la section en acier peut demeurer visible, sans revêtement.

■ Sections de poteaux



Protection antibruit, (Mario Botta), Chiasso, 2004

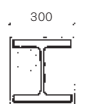
Poteaux béton



Poteaux acier



$N_d = 1120 \text{ kN}$



$N_d = 5600 \text{ kN}$

Comparaison entre poteaux équivalents en béton et en acier

Conditions générales:

Longueur de flambage $LK = 3 \text{ m}$

Béton C 20/25

Armature $m = 0,6 \%$

Acier S 355

Résistance au feu R 60

Sections en I

- la forme la plus courante et la plus économique
- convient particulièrement bien au raccordement de poutres dans les deux directions
- toutes les parties se prêtent aux assemblages boulonnés
- bétonné, comme section mixte, capacité augmentée, résistance au feu jusqu'à R 90

Sections en caisson rectangulaires et sections massives en acier

- conviennent pour des poteaux avec fortes charges, fléchis selon les deux axes, grandes longueurs de flambage, section de dimensions réduites
- en raison de la surface extérieure lisse, préférées sans enrobage, résistance au feu R 30 pour des sections pleines à partir de $\varnothing 80 \text{ mm}$

Profilés laminés creux

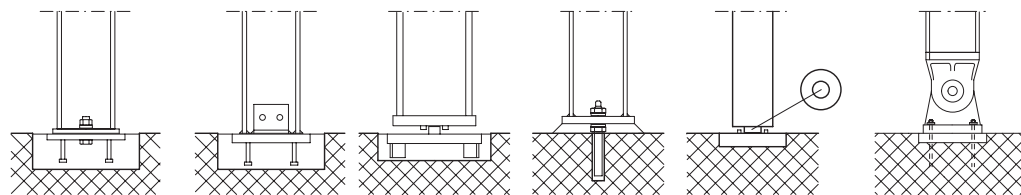
- les arêtes arrondies donnent une image rassurante
- les caractéristiques mécaniques des profilés de dimensions extérieures identiques peuvent être graduées par la variation de l'épaisseur des parois
- l'introduction des forces nécessite des mesures constructives spéciales
- le remplissage en béton augmente la résistance mécanique et la résistance au feu (avec armature longitudinale pour R 60/R 90)

Poteaux composés de plusieurs sections

- conviennent si le sommet doit être placé entre les deux moitiés du poteau, ou si les conduites placées dans le poteau doivent demeurer accessibles
- dimensions extérieures plus grandes que dans les autres cas décrits plus haut
- étrépillons nécessaires pour la résistance au flambage

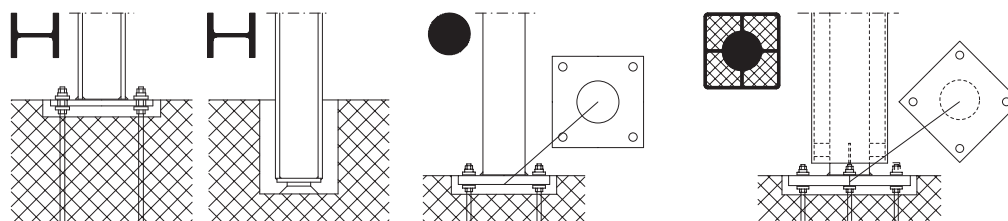
■ Détails constructifs des poteaux

Appui articulé

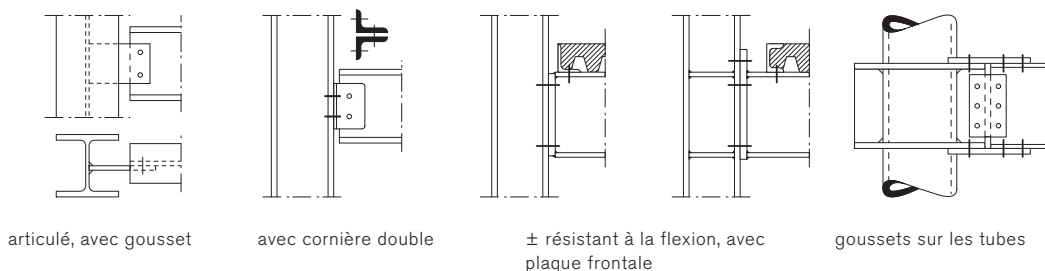


Cas spécial

Appui encastré



Raccordement d'une poutre à un poteau



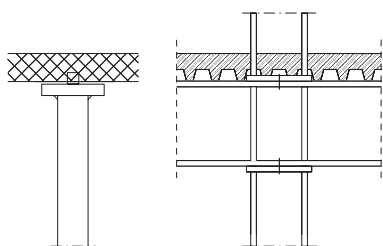
articulé, avec gousset

avec cornière double

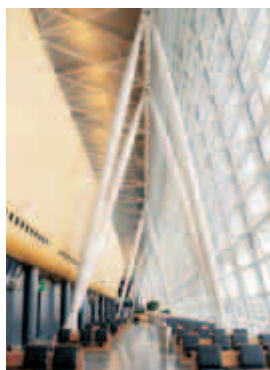
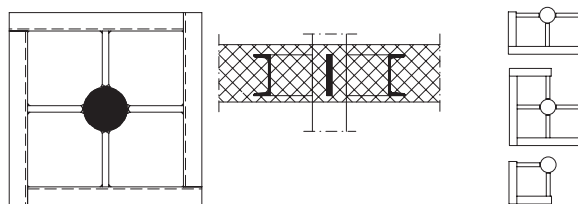
± résistant à la flexion, avec plaque frontale

goussets sur les tubes

Tête de poteau articulée



Tête de poteau en forme de champignon, encastrée dans la dalle du plancher (contre le poinçonnement de la dalle) avec variantes de bord de dalle



Formes spéciales: mâts composés (poste de douanes à Kreuzlingen-Konstanz); poteaux oscillants inclinés (Airside Center, aéroport de Zurich), à droite: appuis articulés



7 Poutres

On appelle poutres les éléments porteurs horizontaux qui transmettent les charges des planchers et de la toiture vers les appuis. Dans le choix des poutres en acier, en plus de considérations d'ordre statique et constructif, il faut tenir compte:

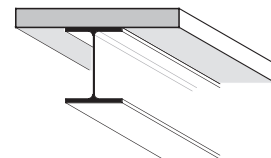
- des conduites situées dans la zone des planchers
- des conditions d'éclairage
- de l'apparence
- de la protection contre l'incendie



■ Types de poutres

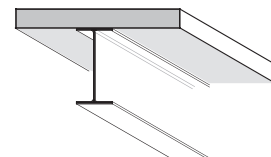
Profilés laminés à larges ailes HEA, HEB, HEM

- Poutres pour reprise d'efforts importants, avec hauteur minimale
- évidements de l'âme possibles dans une mesure limitée, $\varnothing = 0,5 H$ maximum
- portées recommandées: de 4,5 jusqu'à 7 m maximum (planchers)
- hauteur des poutres $H = 1/18$ (poutres simples) jusqu'à $1/30$ de la portée (poutres continues)



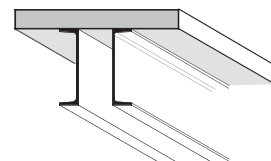
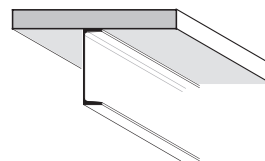
Poutres à ailes étroites IPE

- profilé économique
- évidements possibles: $\varnothing = 0,5 H$ maximum
- portées recommandées: jusqu'à 9 m (planchers), jusqu'à 16 m (toitures)
- hauteur de la poutre $H = 1/15$ (poutres simples) jusqu'à $1/24$ de la portée (poutres continues)



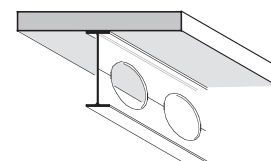
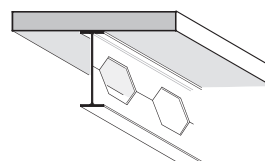
Profilés en U

- utilisés comme poutres de rive de plancher (charges réduites)
- peuvent être jumelés et utilisés comme poutres moisées de plancher, fixées aux côtés des poteaux
- plusieurs moyens constructifs peuvent servir à éviter la torsion des profilés
- portées recommandées: jusqu'à 9 m (planchers), jusqu'à 16 m (toitures)
- hauteur de la poutre $H = 1/15$ (poutres simples) jusqu'à $1/24$ de la portée (poutres continues)



Poutres alvéolaires

- fabriquées à partir de profilés IPE, HEA ou HEB
- pour des conduites jusqu'à un diamètre d'environ 40 cm ($\varnothing = 0,7 H$ maximum)
- avantageuses pour la reprise de moments de flexion importants dans le cas de grosses portées
- possibilité d'agencement simple (surélévation, courbures, voûtes)
- dans la zone des poteaux, il faut éviter les évidements, voire les refermer
- portées recommandées: jusqu'à 12 m (planchers), jusqu'à 20 m (toitures)
- hauteur des poutres: $H = 1/16$ de la portée



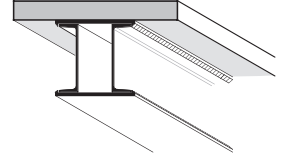
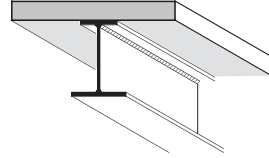
(Plans: Conception des charpentes métalliques EPFL)



Centre Paul Klee, Berne: forme libre et grandes portées avec des poutres composées

Poutres composées à l'âme pleine

- tôles assemblées par soudure
- évidements importants possibles: $\varnothing = 0,7 H$ maximum
- agencement simple (surélévation, hauteur variable)
- portées recommandées: plus de 12 m (pour des toitures, en particulier)
- hauteur des sections: $H = 1/12$ (poutres simples) jusqu'à $1/24$ de la portée (poutres continues)



Formes particulières

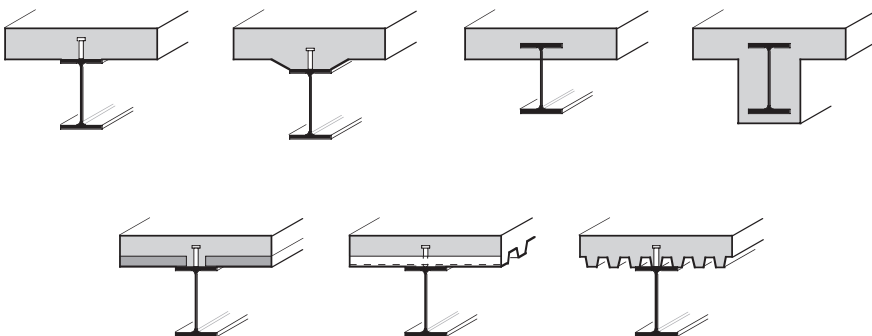
- Les poutres Davex® sont assemblées par sertissage, donc sans soudure. Semelles et âme peuvent avoir des épaisseurs différentes et la section peut ainsi être optimisée. On peut réaliser différentes géométries et même utiliser pour l'âme des matériaux différents: métaux ou matières synthétiques.
- Utilisation pour des éléments apparents peu sollicités: façades, balcons, pavillons d'exposition, escaliers, etc.



Les poutres Davex®, par leurs bords tranchants et leur apparence légère, ouvrent de nouvelles possibilités d'utilisation dans l'architecture. Information sur le site www.d-a.ch

Poutres mixtes acier-béton

- La poutre en acier collabore, grâce aux goujons à tête soudés, avec la dalle en béton ou mixte (béton sur tôle profilée); le béton travaille surtout en compression due à la flexion de l'ensemble.
- tous les types de profilés décrits peuvent être concernés
- élément porteur relativement rigide, permet en même temps de réduire la hauteur de la poutre



Sections mixtes typiques

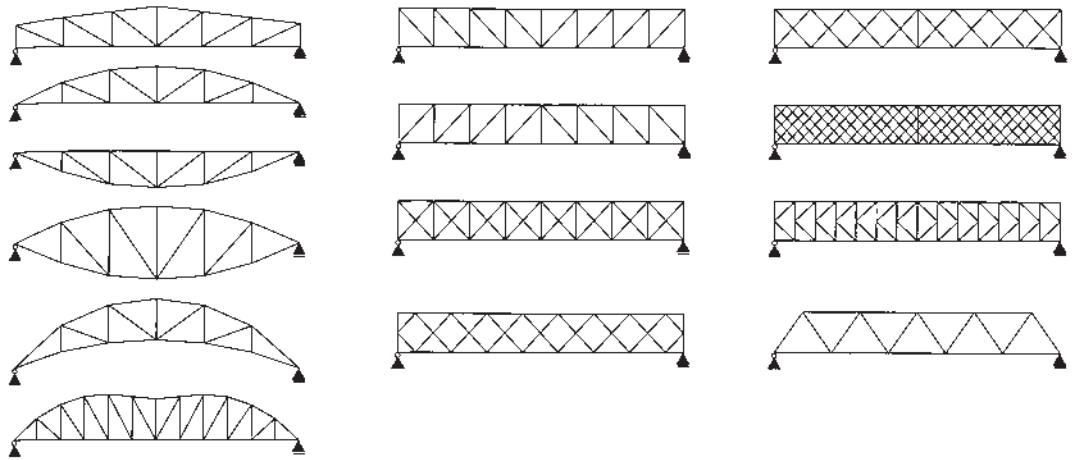
(Plans: Conception des charpentes métalliques, EPFL)

■ Poutres à treillis

Les poutres à treillis sont utilisés lorsque la portée du cadre est grande ou pour les couvertures de halles avec une forme spéciale. Les poutres à treillis peuvent être composées de divers profilés. Pour les membrures, on utilise des doubles cornières, des profilés à section en T ou H, pour les barres aussi des cornières doubles ou simples ou encore des profils creux; dans le cas des membrures en T, on peut souvent renoncer aux goussets.

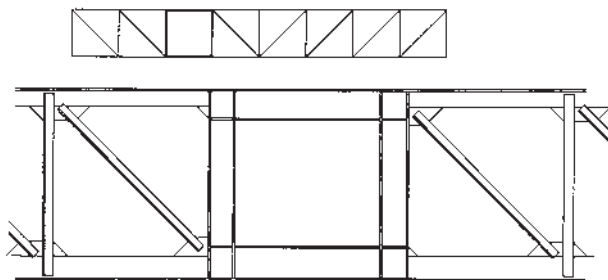
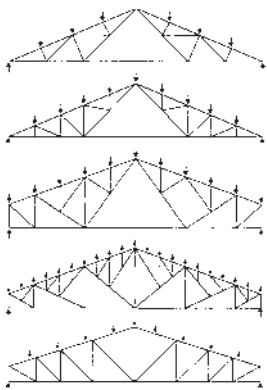
Les avantages des poutres à treillis sont:

- passage facilité des conduites
- structure relativement rigide
- agencement simple (surélévation, formes libres)
- portées recommandées: au-delà de 9 m jusqu'à 18 m (planchers) voire jusqu'à 100 m (toitures)
- hauteur des poutres: $H = 1/10$ (poutres simples) jusqu'à $1/18$ de la portée (poutres continues)



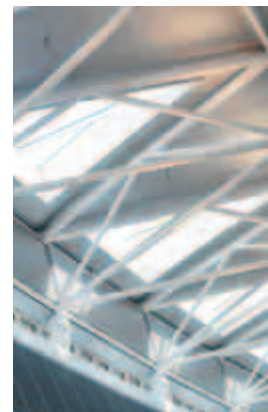
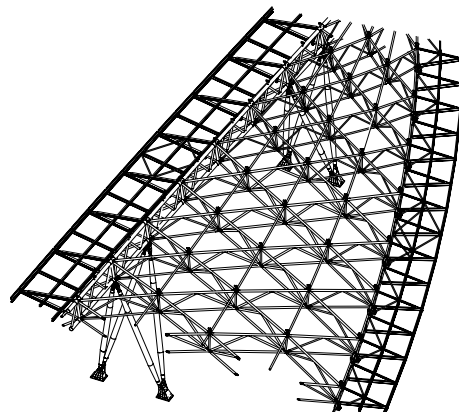
Exemples de poutres à treillis avec membrures parallèles ou non parallèles

Fermes en treillis triangulées



Avec la poutre Viereendeel, on peut supprimer les diagonales, car toute la construction est très rigide. Ce système est plus lourd, mais permet une circulation libre.
Exemple: poutre à treillis avec Viereendeel

Poutre de la toiture de l'Airside Center, aéroport de Zurich: deux séries de poutres à treillis croisées. A droite: pont piétonnier en Malaisie (Prix Acier 2005)

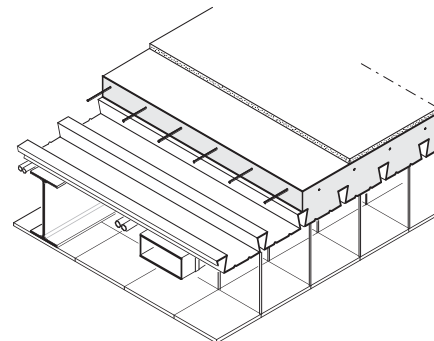


8 Dalles

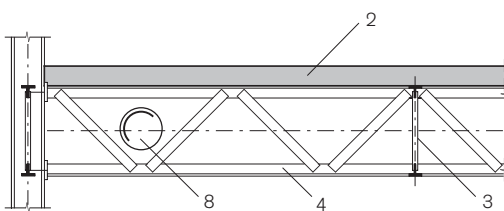
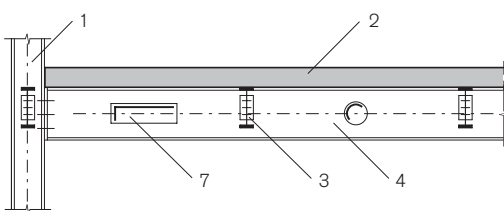
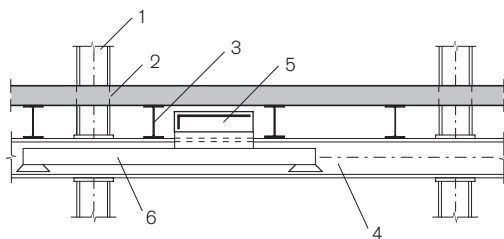
Pour la disposition des poutres, il y a différentes solutions possibles; elles peuvent être parallèles ou croisées. Dans ce dernier cas, les nappes peuvent être superposées ou encastrées l'une dans l'autre. Le choix dépend de la hauteur disponible et des conduites à placer.

■ Disposition des conduites

Une ossature d'acier aérée facilite la disposition des conduites desservant le bâtiment, dans le sens horizontal comme vertical, et permet des modifications ultérieures. Structure porteuse et installations s'influencent mutuellement. La disposition des conduites est souvent décisive dans le choix de la structure de la dalle. Pour l'équipement technique avantageux du bâtiment, une disposition simple et claire des conduites est de grande importance. Comme les distributions horizontales sont presque toujours placées dans les planchers, les poutres en acier offrent un avantage important en ce qui concerne la place disponible. Elles permettent une disposition flexible des conduites de même que des modifications ultérieures.



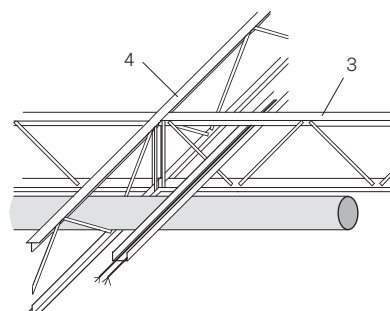
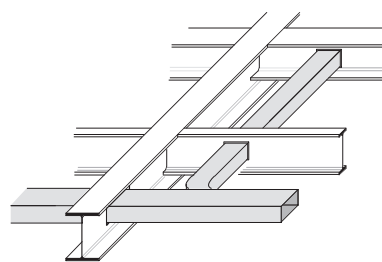
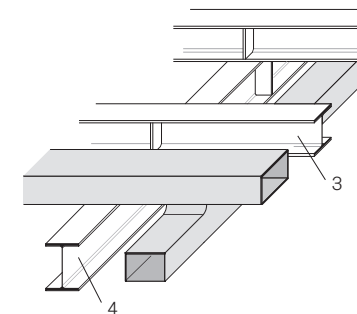
- Composition typique d'un plancher sur solives en acier
- Chape de revêtement
 - Dalle en béton avec armature (treillis)
 - Tôle profilée
 - Poutre portant la dalle
 - Espace pour conduites
 - Faux-plafond (éventuellement servant de protection incendie)



Disposition des conduites dans le cas de planchers avec deux niveaux de poutres

- 1 Poteau
- 2 Dalle
- 3 Solive
- 4 Sommier
- 5 Conduite principale
- 6 Conduite secondaire
- 7 Ouverture
- 8 Conduite

(Source: Conception des charpentes métalliques, EPFL)

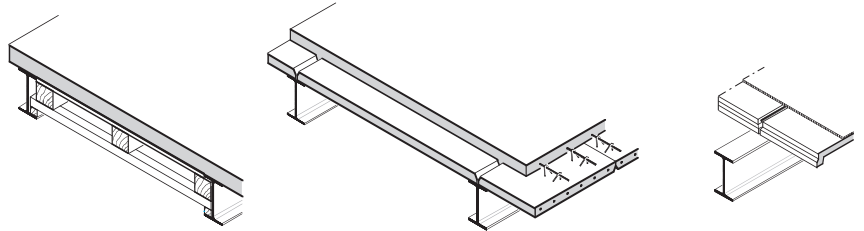




■ Types de dalles

Dalle simple en béton armé

La dalle en béton armé porte souvent dans une seule direction, plus rarement dans deux directions. Elle peut être réalisée en béton coulé en place (sur un coffrage en bois) ou en éléments préfabriqués posés sur les poutres, scellés et éventuellement recouverts de béton.

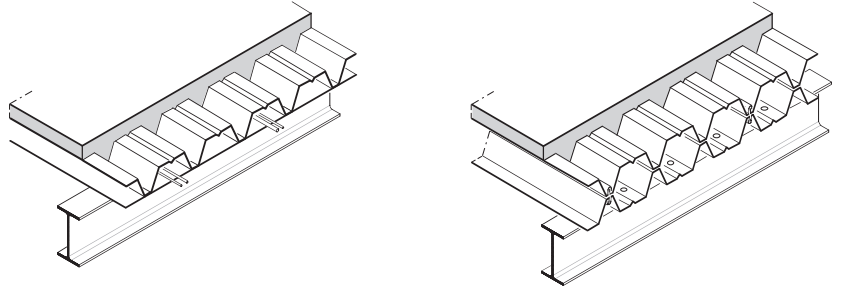


Plancher métallique

Ce type de plancher est composé de tôles profilées et d'une dalle en plusieurs couches. La tôle profilée en acier est seule porteuse et peut servir de coffrage pour la chape coulée sur place (béton, anhydrite, etc). Le nervrage est souvent de forme trapézoïdale. Les tôles sont galvanisées ou revêtues d'un prélaquage.

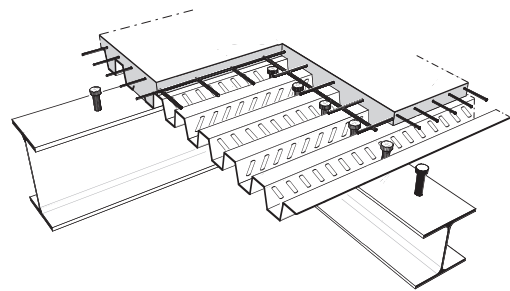
Avantages des planchers métalliques et mixtes

- légèreté
- exécution rapide
- dalle sans coffrage
- utilisation immédiate après le montage
- chantier sûr



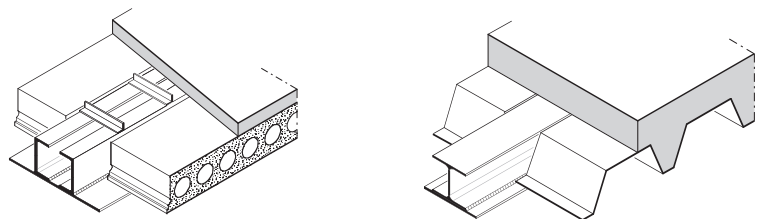
Plancher mixte acier-béton

Le plancher mixte est un système porteur formé par les poutres, la tôle profilée et la dalle de béton armé coulé dessus. Le béton remplit la fonction de membrure supérieure comprimée, la tôle profilée sert d'armature et garantit par sa forme l'adhérence au béton. Un léger treillis d'armature dans la dalle est destiné à limiter la fissuration du béton. Lorsque la dalle est liée à la poutraison par des connecteurs, l'ensemble constitue un plancher mixte acier-béton. Ce système est très économique.



Plancher mince (slim floor)

Le plancher mince à poutres intégrées «slim floor» est bien connu depuis les années 80 dans les pays anglo-saxons. Il consiste en un système de poutres à un niveau, y intégrant les éléments de la dalle. L'ensemble du plancher n'est guère plus haut que les poutres et garantit une bonne protection contre l'incendie. Les éléments de la dalle sont souvent préfabriqués, réduisant les délais de montage, et les conduites peuvent être placées dans les nervures en cas de dalle mixte avec tôle profilée.



(Source: Conception des charpentes métalliques, EPFL)



9 Assemblages et joints de poutres

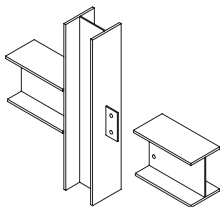
Les éléments d'une ossature en acier sont préfabriqués en usine. La production industrielle et les impératifs d'un montage simple et sûr ont une grande influence sur la disposition des assemblages des éléments. Il est important de disposer d'assemblages normalisés et de tolérances

définies. Pour des raisons économiques, les formes simples sont préférables. Ci-dessous sont présentés des assemblages typiques de poutres secondaires (solives, pannes) et de poutres primaires (sommiers) de profilés en double té.

■ Nœuds entre poutres et poteaux en profilés

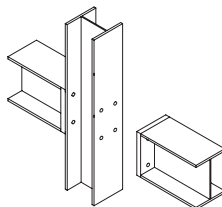
Poteaux continus

assemblages articulés



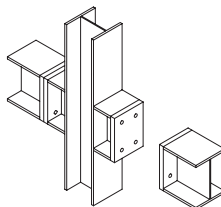
goussets soudés

assemblages rigides



plaques frontales soudées

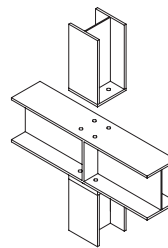
nœuds préfabriqués



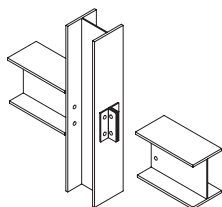
plaques frontales soudées

Poutres continues

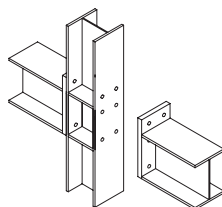
assemblages rigides



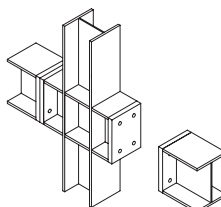
raidisseur soudé sous l'âme du poteau, articulé



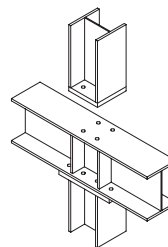
cornières doubles (non soudées)



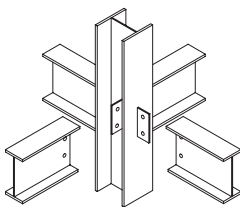
raidisseurs soudés, plaques frontales débordantes soudées



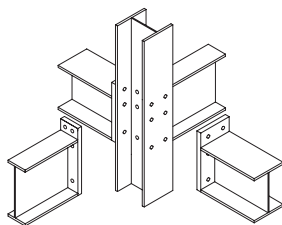
raidisseur soudé, plaques frontales soudées



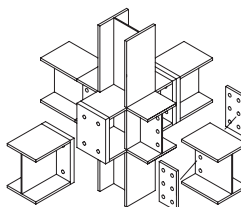
raidisseurs soudés sous les ailes du poteau, rigide



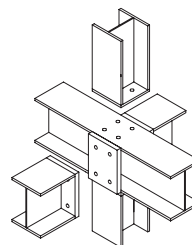
assemblage à trois dimensions



assemblage à trois dimensions



assemblage à trois dimensions



assemblage spatial à trois dimensions, pièce découpée HE soudée

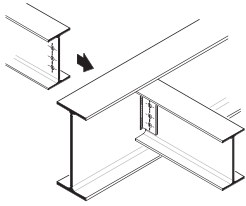
Les poteaux continus sans raidisseurs horizontaux sont avantageux pour les conduites verticales. Les nœuds préfabriqués sont rares, mais avec les assemblages situés près de l'endroit où la flexion change de signe, ils peuvent présenter des avantages pour la construction et le montage. Les assemblages à trois dimensions peuvent être évités par un décalage vertical des poutres secondaires ou par leur décalage par rapport à la trame des poteaux. Pour d'autres détails d'assemblage voir, par exemple, la publication C8 du SZS.

■ Assemblages de poutres

Assemblages typiques de poutres secondaires (solives, pannes) et de poutres primaires (sommiers) de profilés en double té

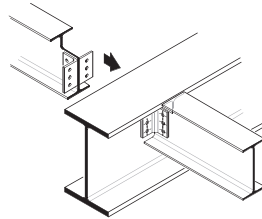
Poutre secondaire articulée

Joint par gousset



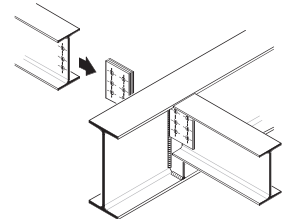
Gousset simple, soudé en usine. Avec échancrure, également possible pour semelles supérieures affleurantes

Joint par cornière double



Pas de travail de soudage, mais plus de boulons. Sans échancrure, également possible pour des semelles supérieures décalées en hauteur.

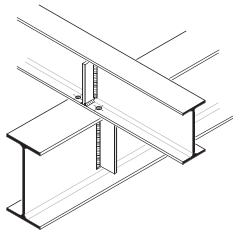
Joint par couvre-joints d'âme



Raidisseurs éventuellement moins hauts, soudés seulement à l'âme. Une légère torsion des couvre-joints est inévitable à cause de l'excentricité de l'assemblage

Poutre secondaire continue

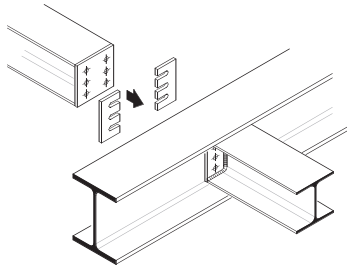
superposée



Raidisseurs soudés seulement si nécessaire. Egale-ment possible avec joint des poutres secondaires à l'appui (articulé la plupart des cas).

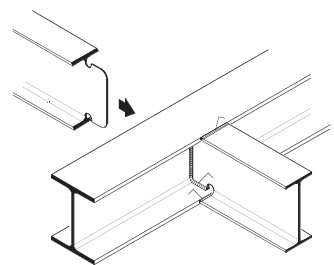
(Source: Conception des charpentes métalliques, EPFL)

assemblage par plaques frontales



Plaques frontales épaisses, boulons précontraints HV. Fourrures à cause de l'insertion et pour compenser la tolérance. Joint articulé, si la plaque frontale n'est soudée qu'à l'âme (possible avec échancrure).

assemblage soudé



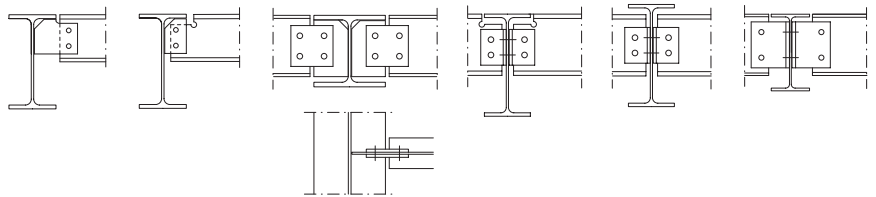
Important travail de soudage au montage. Besoin de protection de surface ultérieure dans la zone de l'assemblage. Utilisable également dans le cas de poutres secondaires de hauteur inégale et décalées.

Assemblage articulé entre poutre et sommier

assemblage par goussets

assemblage par couvre-joints

assemblage par cornières doubles

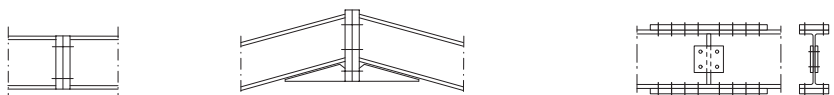


Joints de poutres rigides

joint par plaques frontales

joint faitier avec gousset

joint par couvre-joints



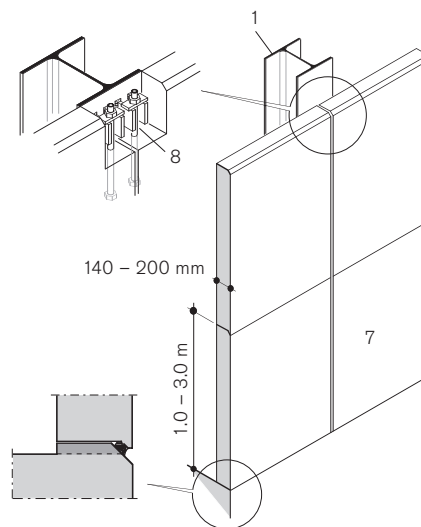
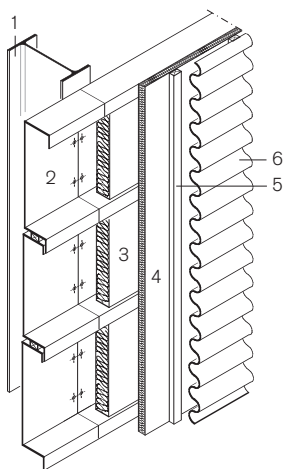
10 Façades

Les façades ont un rôle décisif dans l'économie énergétique d'un bâtiment. Elles sont placées derrière, devant ou dans le plan de la structure porteuse. Compte tenu de la conductivité thermique de l'acier, il est souhaitable de placer la façade à l'extérieur de la structure (façade-rideau). On peut également combiner la structure métallique avec une façade lourde.



Façade légère en acier

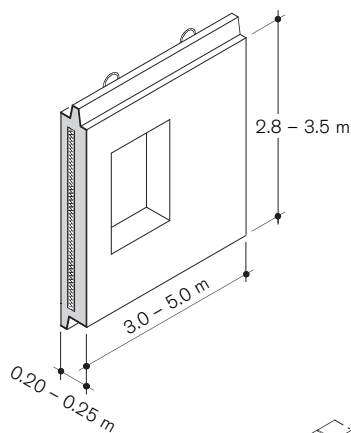
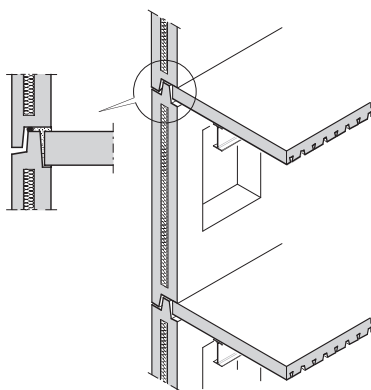
- 1 Montant de façade
- 2 Revêtement intérieur en tôle
- 3 Isolation
- 4 Couche d'isolation supplémentaire
- 5 Lambourde bois
- 6 Revêtement extérieur
- 7 Plaque préfabriquée en béton
- 8 Suspension des plaques



Façade lourde
Panneaux lourds

Châssis préassemblés

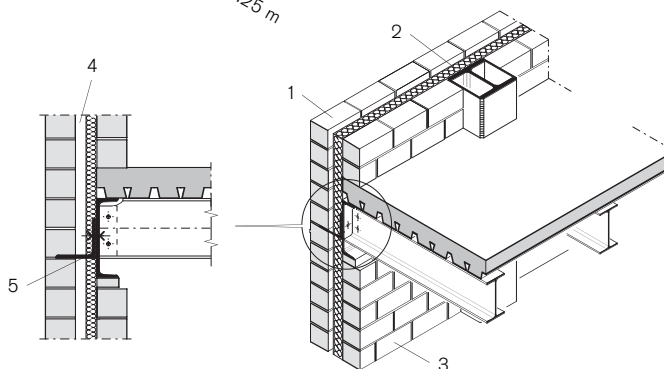
Ces panneaux autoportants ne nécessitent aucune ossature secondaire. Les éléments préfabriqués de hauteur égale à celle d'un étage sont fixés directement aux dalles du bâtiment ou à la poutraison.



Façade en maçonnerie

La poutre principale est liée à l'enveloppe de briques avec un profil particulier, soudé ou boulonné aux éléments porteurs. Ce profil doit être réalisé en acier inoxydable.

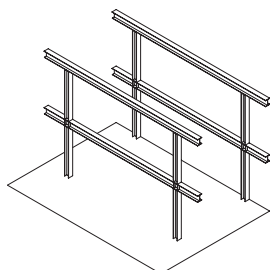
- 1 voile extérieur
- 2 isolation avec pare-vapeur
- 3 voile intérieur
- 4 vide d'air
- 5 Profil de fixation



(Source: Conception des charpentes métalliques, EPFL)

11 Ossatures à cadres

■ Cadres à poutres continues



Cadres avec poutres continues

La structure porteuse comprend une série de cadres avec des poteaux en retrait. Comme les poteaux sont interrompus, les poutres doivent être munies de raidisseurs pour la reprise des charges verticales. Les cadres sont orientés perpendiculairement à l'axe du bâtiment. Si les poteaux sont raccordés aux poutres de façon rigide par des plaques boulonnées, chaque cadre est en soi stable, mais l'ensemble doit être raidi contre les charges horizontales dans le sens de la longueur du bâtiment par des éléments stabilisateurs verticaux. L'esquisse montre trois variantes du plancher dont le point commun est dans la disposition au-dessus de la poutre principale.

D1 est basé, dans le sens d'une structure secondaire, sur des solives posées sur les poutres principales. La distance séparant les poutres principales est ici de 4,5 m; avec des solives plus hautes, elle peut atteindre 12 m. A la

différence des poutres secondaires, disposées à la même hauteur entre les poutres principales, la superposition (longues poutres secondaires continues) permet le placement des conduites dans la direction perpendiculaire aux cadres. En fonction des exigences, un coffrage en panneaux de bois peut suffire comme revêtement de passage.

Dans le cas de D2 et D3, on a renoncé à des éléments porteurs secondaires en forme de solives. La structure est formée par des tôles trapézoïdales – dans le cas de D3, en liaison avec une couche de béton armé; dans le cas de D2, réalisé à sec, un dallage posé sert de support au revêtement de sol. Dans le cas de tôles profilées de faible hauteur et sans assistance au montage de la dalle mixte, l'espacement des poutres est limité à 2 m.

Le plancher D3 atteint une résistance au feu REI 90; les autres parties de construction nécessitent des mesures supplémentaires si une résistance au feu est exigée.

Plancher D1

Panneau de bois 27 mm
Poutres en acier IPE 180 180 mm
Total 207 mm

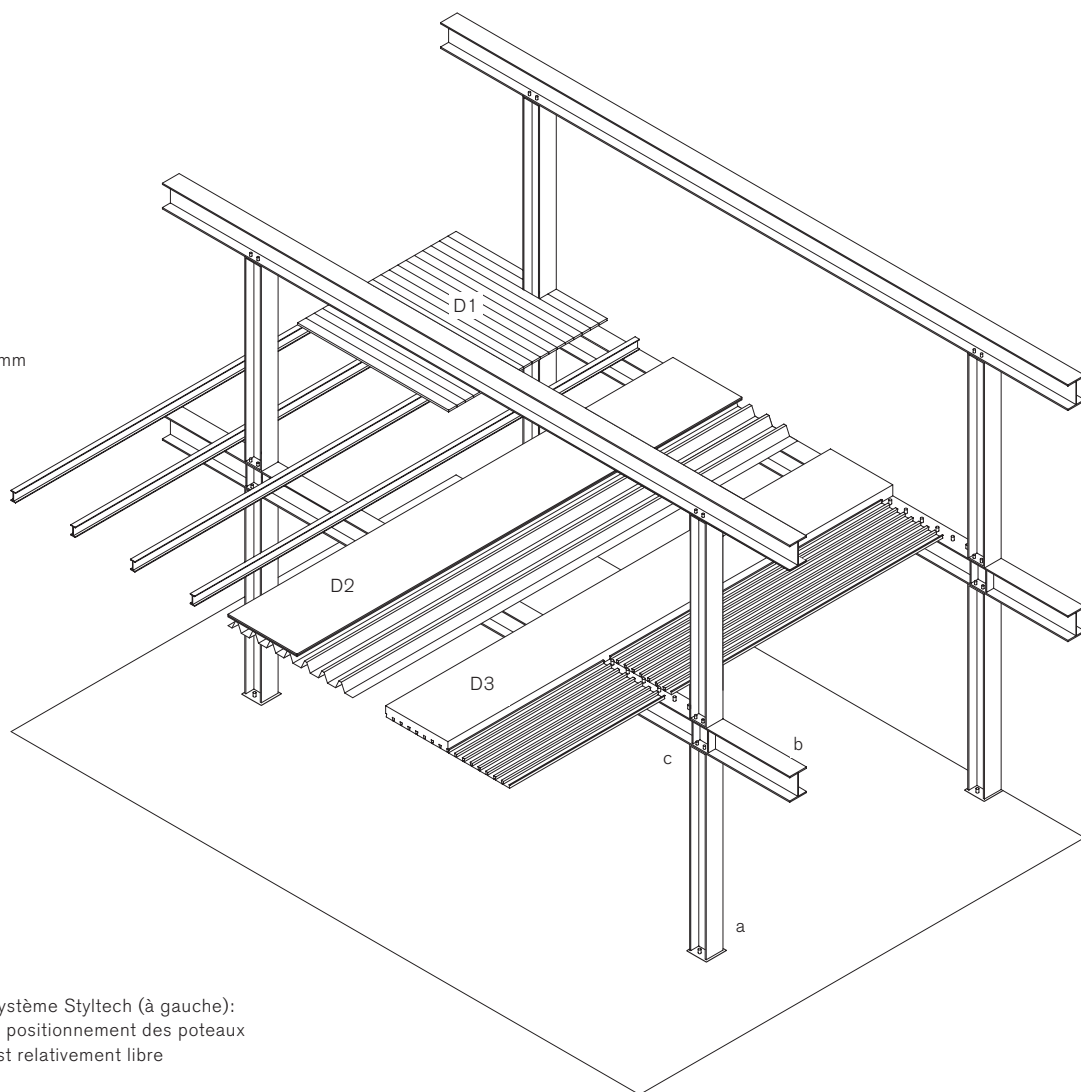
Plancher D2

Dallage posé 27 mm
Épaisseur de séparation en caoutchouc 20 mm
Tôle profilée en acier 160 mm
Total 207 mm

Plancher D3

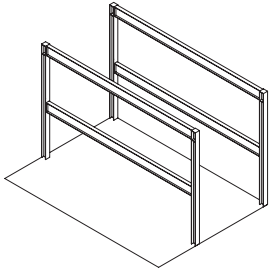
Chape en béton armé 70 mm
Tôle profilée en queue d'aronde 50 mm
Total 120 mm

- a) HEA 400, interrompu aux étages
- b) HEA 400, poutre continue
- c) Raidisseurs pour les charges verticales



Système Styltech (à gauche): le positionnement des poteaux est relativement libre

■ Cadres à poteaux continus



Cadres avec poteaux continus

La structure porteuse est composée d'une série de cadres avec des poteaux continus placés en façade, ces derniers n'empiètent pas sur l'espace intérieur. Pour une surface égale à celle de l'exemple précédent, les poutres doivent avoir des dimensions supérieures car la portée est plus grande de 10 m environ.

Les cadres sont perpendiculaires à l'axe du bâtiment. Si les poutres sont raccordées de façon rigide aux poteaux par des plaques frontales boulonnées, leur flèche est diminuée par l'effet d'encastrement et chaque cadre est stable en soi. La rigidité des noeuds peut être améliorée par diverses mesures constructives. Pour résister aux forces horizontales agissant dans le sens de la longueur du bâtiment, la structure doit être stabilisée par des pans verticaux.

Le surcroît de hauteur supplémentaire peut être compensé en partie en plaçant le plancher entre les poutres. Le plancher D4 est analogue au plancher D1 sauf en ce qui

concerne la position des solives placées ici au niveau et entre les poutres principales. Les conduites perpendiculaires aux cadres nécessitent l'ouverture de trous dans les poutres; ceux-ci sont disposés soit irrégulièrement, soit à des intervalles réguliers le long des poutres, sous forme de poutres ajourées. De telles poutres à âme évidée ont une hauteur légèrement plus grande mais permettent une économie de poids de 30 %.

D5 montre une dalle nervurée où les tôles trapézoïdales sont suspendues entre les poutres principales et bétonnées. Grâce aux goujons soudés au préalable sur les poutres, la dalle du plancher forme une structure mixte avec la structure primaire. Les tôles sont suspendues par des crochets en acier (section carrée 25 x 25 mm) soudés aux poutres en usine.

Le plancher D5 atteint une résistance au feu REI 90; les autres éléments de construction nécessitent des mesures supplémentaires si une résistance au feu est exigée.

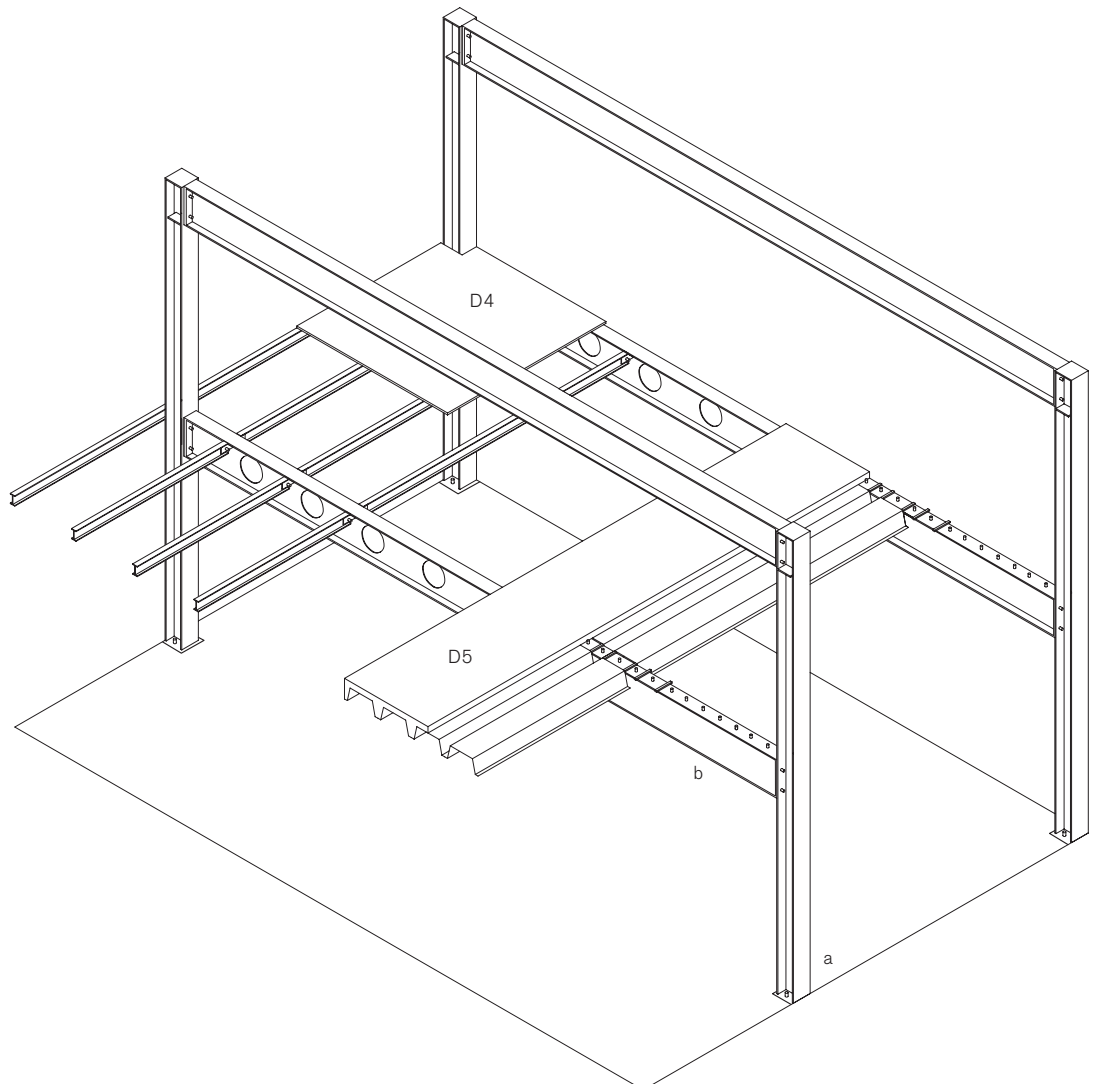
Plancher D4

Panneau de bois 27 mm
Poutre en acier IPE 160 160 mm
Total 187 mm

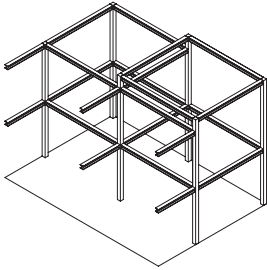
Plancher D5

Chape en béton 120 mm
Tôle profilée en acier 200 mm
Total 320 mm

- a) HEA 300
- b) IPE 600, en partie comme poutre à âme évidée



■ Ossature à cadres spatiaux



Cadres spatiaux

La structure porteuse comprend une ossature sans direction préférentielle avec des poteaux en profilés creux laminés à chaud (ou en caissons soudés). Ces poteaux offrent, à la différence des profilés en double té, la même disposition pour le raccordement des poutres dans tous les sens. D'autre part, comme les poteaux sont continus, ici comme ailleurs, le raccordement de poutres de n'importe quelle hauteur est possible, ce qui autorise des locaux à des hauteurs différentes.

Les joints, dans l'exemple présenté, ne sont pas rigides; il en résulte une ossature de cadres avec des nœuds articulés. Pour résister aux forces horizontales, la structure doit être raidie, dans les sens longitudinal et transversal, par des dispositifs verticaux complémentaires. Dans l'exemple présenté ici, la distance entre poteaux est de 5 m; toutefois, avec le même système, on peut atteindre 9 m. Au cas où toutes les solives devraient être chargées de manière uniforme, l'orientation des planchers doit être alternée. Dans le cas de planchers minces, ceux-ci ont la même hauteur que les poutres intégrées (planchers

slim floor, Integrated Floor Beam, etc.). Dans les deux cas, la semelle inférieure des poutres comprend une tôle soudée, plus large, servant d'appui.

Le plancher D6 est basé sur des dalles alvéolaires préfabriquées en béton précontraint, pouvant aller – grâce à la précontrainte – jusqu'à une portée de 12 m. Les alvéoles servent uniquement à diminuer le poids; les conduites sont logées sous le plancher. Le grand avantage réside en l'exécution à sec et rapide. D7 montre un plancher nervuré semblable à D5, avec des tôles trapézoïdales placées entre les poutres principales et bétonnées. Dans ce cas, les conduites peuvent être placées entre les nervures. En tant que construction mixte, le plancher sert aussi au raidissement horizontal du bâtiment.

D6 et D7 conviennent également bien aux ossatures à direction préférentielle avec une trame rectangulaire des poteaux. Les planchers D6 et D7 peuvent atteindre une résistance au feu REI 90. Les poutres slim floor intégrées et les profilés creux remplis de béton armé ont une résistance au feu R 60 à R 90.

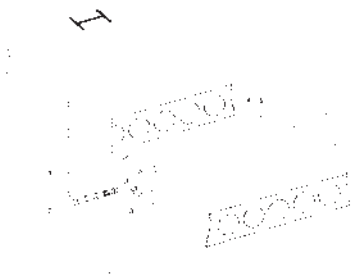
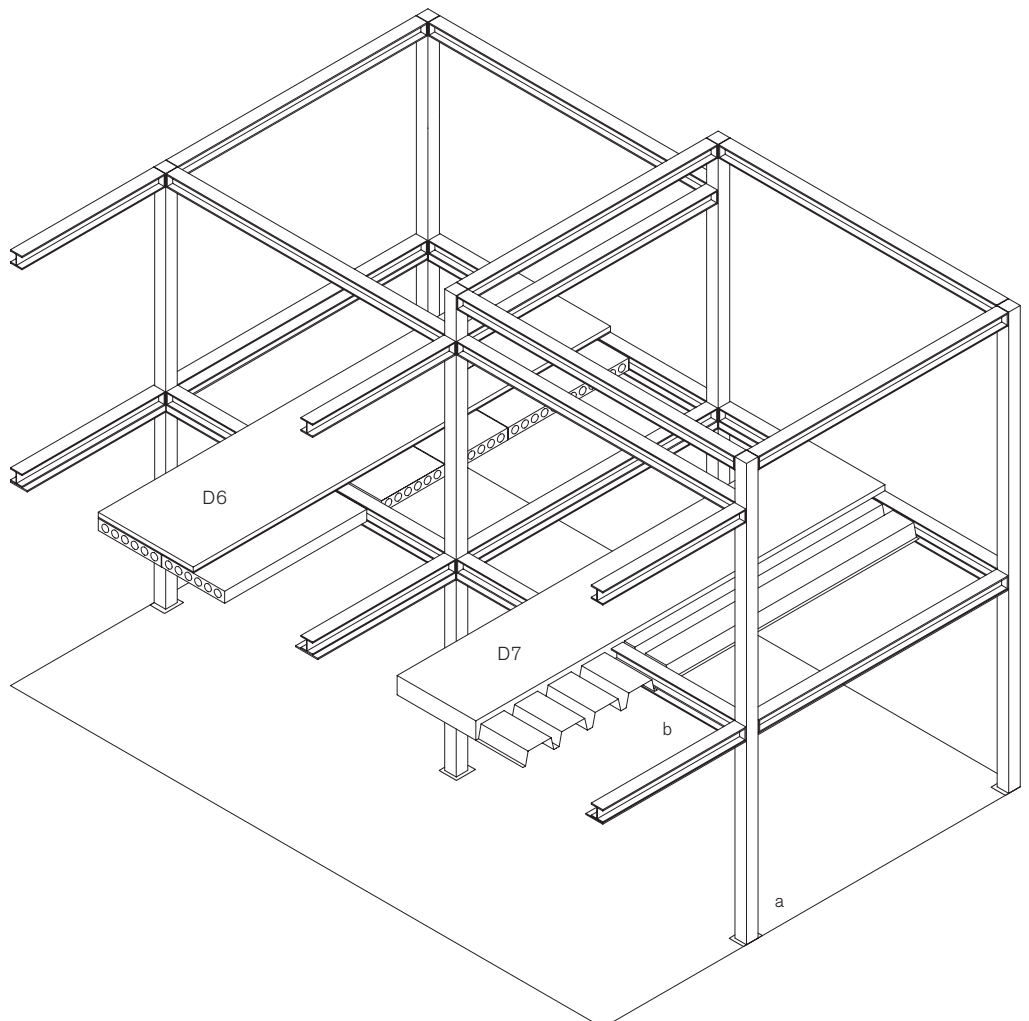
Plancher D6

Chape de ciment 80 mm
Isolation phonique 20 mm
Dalles alvéolaires en béton précontraint 220 mm
Total 320 mm

Plancher D7

Dalle en béton 120 mm
Tôle profilée en acier 200 mm
Total 320 mm

- a) Poteaux en profilé creux RRW 200, continus (ROR également possible)
- b) Poutres HEB 200 avec tôle supplémentaire (type SFB), raccordement articulé



Dalle creuse en béton précontraint: la semelle inférieure plus large des poutres sert d'appui aux éléments de la dalle

12 Protection incendie

Dans la construction métallique, la protection contre l'incendie est d'une importance capitale. Certes, l'acier n'est pas combustible, mais sous l'effet de la chaleur, sa structure et, par là, sa résistance se trouvent modifiées. Si un élément porteur en acier doit pouvoir résister au feu pendant 60 minutes (R 60), à la différence de structures en béton ou en maçonnerie, il doit être, la plupart des cas, enrobé ou muni d'une peinture protectrice.

Le choix des mesures de protection appropriées est basé sur des éléments spécifiques. Ceux-ci tiennent compte de l'utilisation et des risques d'incendie qui en dépendent, tout comme des occupants, du caractère ouvert ou fermé des espaces et du nombre de niveaux. Ainsi, dans le cas de bâtiments industriels à niveau unique, en général, on ne pose pas d'exigences quant à la résistance au feu des structures, car la possibilité de fuite vers l'extérieur est donnée, les employés sont familiarisés avec la disposition des locaux et ils sont instruits au sujet du comportement à adopter en cas d'incendie. Tout autre est la situation dans le cas de bâtiments ouverts au public où la plupart des gens ne savent pas s'orienter. Les exigences sont moindres dans le cas de bâtiments à niveau unique ainsi qu'au niveau supérieur de bâtiments à étages car ils n'ont pas de locaux qui leur soient superposés et mis en danger en cas d'incendie.

■ Mesures de protection actives

Les deux buts fondamentaux de la protection contre l'incendie sont la protection des personnes et celle des choses (bâtiment et contenu). La protection des personnes nécessite des possibilités de fuite vers l'extérieur. A ce sujet, il convient de savoir que la cause la plus fréquente de décès en cas d'incendie n'est pas l'effondrement du bâtiment mais l'asphyxie par les gaz. Il est donc important d'évacuer rapidement la chaleur et les fumées. Des me-

sures préventives et l'emploi de moyens de détection avancés (détecteurs d'incendie) ainsi que d'intervention rapide pour circonscrire l'incendie naissant (sprinklers) ne servent cependant pas seulement la protection des personnes et du contenu du bâtiment mais permettent souvent de laisser la structure porteuse sans revêtement, puisque la mise en danger par un incendie généralisé est évitée.

■ Mesures de protection constructives

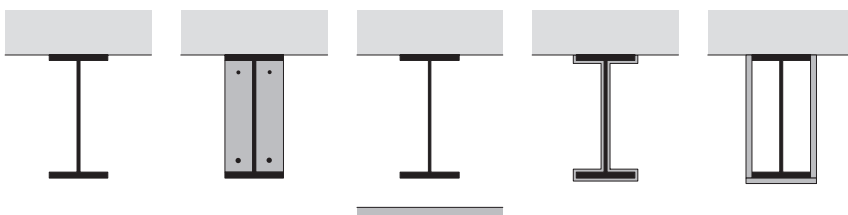
Au cas où les mesures de protection actives ne suffiraient pas, la structure porteuse doit être construite de telle façon qu'elle puisse conserver sa résistance même dans un incendie généralisé (avec des températures allant jusqu'à environ 1000° C) pendant 30, 60 ou 90 minutes. Si la structure métallique doit demeurer apparente, sa résistance au feu peut être garantie soit par un surdimensionnement, soit par l'application d'une peinture protectrice qui gonfle en cas d'incendie (peinture intumescente). Ces peintures sont à présent admises jusqu'à la classe de résistance R60 et, par leur apparence, ne peuvent pas être distinguées d'autres peintures.

La mesure de protection constructive la plus courante est l'enrobage des éléments en acier, soit directement, soit en laissant un espace, utilisable pour placer les conduites. Une autre solution rationnelle et répandue consiste en l'utilisation de constructions mixtes où les poteaux et les poutres sont partiellement ou entièrement remplis de béton. Souvent, les poteaux en acier sont entourés d'un manteau en acier qui sert de coffrage pour le béton (voir l'immeuble tour de Swisscom de Burkard, Meyer & Partner, 1999). Le béton de remplissage protège le profilé intérieur contre un échauffement excessif et peut contribuer à la reprise des charges. Si, au contraire, on remplit de béton un poteau en tube d'acier, sous l'effet d'un incendie, un déplacement des charges se produira et ce sera le noyau en béton qui reprendra la fonction du poteau.



Poteaux en construction mixte acier-béton

- profilé creux rempli de béton: sous l'effet de l'incendie, le noyau en béton reprend les charges
- noyau en acier avec enrobage en béton et acier: le béton protège le noyau des températures élevées
- profilé en acier enrobé de béton



Protection constructive passive des solives

- profilé sans enrobage en construction mixte avec la dalle en béton – résistance au feu jusqu'à R 30
- profilé bétonné entre les ailes – résistance au feu jusqu'à R 90
- faux-plafond résistant au feu
- peinture de protection colorée (jusqu'à R 60) ou enduit projeté (jusqu'à R 90)
- enrobage avec des plaques de protection

■ Application des mesures protectrices




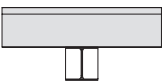



Acier non protégé	Résistance au feu R 30	Résistance au feu R 60	Résistance au feu R 90
Colonnes (1/2) 	SZS steeltec 02, CECM N° 89 (U/A < 50 m ⁻¹) (3) <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> ■ ● - + I </div> <div> min. RND/VKT 80 min. 60x120 min. 150x150 min. HHD 320x300 HHD 400x382 </div> </div>	SZS steeltec 02, CECM N° 89 (U/A < 14 m ⁻¹) (3) <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> ■ ● ■ ■ ● </div> <div> min. RND/VKT 280 min. 200x500 min. 400x400 min. 320x320 </div> </div>	aucune
Poutres mixtes avec dalles béton collaborantes supérieures (2) 	SZS steeltec 02, CECM N° 89 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> min. HEM 300 </div> </div>	SZS steeltec 02, CECM N° 89 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> section pleine min. FLB 150/300 </div> </div>	aucune
Structures protégées par peinture intumescente (4)	<div style="display: flex; align-items: center;"> I T C O <div style="margin-left: 10px;"> tout les profilés </div> </div> http://bsronline.vkf.ch	<div style="display: flex; align-items: center;"> I T C O <div style="margin-left: 10px;"> tout les profilés </div> </div> http://bsronline.vkf.ch	non autorisé
Structures mixtes (5)			
Colonnes 	SZS C2.3, SZS C2.4, ECCS N° 55 norme SIA 264/1 min. HEA 160, RRK 140, ROR 139,7	SZS C2.3, SZS C2.4, ECCS N° 55 norme SIA 264/1 min. HEA 200, RRK 160, ROR 159	SZS C2.3, SZS C2.4, ECCS N° 55 norme SIA 264/1 min. HEA 240, RRK 180, ROR 177,8
Poutres bétonnées entre aile et âme, dalle supérieure (≥120 mm) 	SZS C2.4 norme SIA 264/1 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> min. HEA 100, IPE 120 </div> </div>	SZS C2.4 norme SIA 264/1 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> min. HEA 100, IPE 200 </div> </div>	SZS C2.4 norme SIA 264/1 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> min. HEA 180, IPE 300 </div> </div>
Dalles mixtes avec tôle profilée 	SZS C2.4, CECM N° 32 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> min. HEA 100, IPE 120 </div> </div>	SZS C2.4, CECM N° 32 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> min. HEA 100, IPE 200 </div> </div>	SZS C2.4, CECM N° 32 <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> I </div> <div> min. HEA 180, IPE 300 </div> </div>
épaisseur moyenne de la dalle h _{eff}	h _{eff} ≥ 60 mm	h _{eff} ≥ 80 mm	h _{eff} ≥ 100 mm
Acier protégé (6)			
Protection par plaques, en forme de caisson  (par exemple pour colonnes)	SZS, CECM N° 89 / Steeltec 02 http://bsronline.vkf.ch tout les profilés environ 15 mm d'épaisseur typique	SZS, CECM N° 89 / Steeltec 02 http://bsronline.vkf.ch tout les profilés environ 25 mm d'épaisseur typique	SZS, CECM N° 89 / Steeltec 02 http://bsronline.vkf.ch tout les profilés environ 35 mm d'épaisseur typique
Protection par crépis projetés épousant la forme du profilé  (par exemple pour poutres)	SZS, CECM N° 89 / Steeltec 02 http://bsronline.vkf.ch tout les profilés environ 20 mm d'épaisseur typique	SZS, CECM N° 89 / Steeltec 02 http://bsronline.vkf.ch tout les profilés environ 30 mm d'épaisseur typique	SZS, CECM N° 89 / Steeltec 02 http://bsronline.vkf.ch tout les profilés environ 40 mm d'épaisseur typique
<p>(1) Dimensions données pour des colonnes continues sur 3 étages de 3 mètres d'hauteur d'étage (selon steeltec 02 ou CECM N° 89).</p> <p>(2) Des dimensions inférieures sont possibles pour des taux d'utilisation réduits, consulter l'Euronomogramme (steeltec 02 ou CECM N° 89).</p> <p>(3) Facteur de massivité U/A (resp. A_m/V selon Euronomogramme).</p> <p>(4) Nécessite l'approbation des autorités compétentes de sécurité incendie au niveau du projet (voir note explicative de l'AEAI 1008).</p> <p>(5) Béton toujours armé, sauf pour les profils R 30.</p> <p>(6) Verkleidungsprodukte gemäss VKF-Brandschutzregister, Anwendung und konstruktive Randbedingungen wie geprüft und zugelassen (QS-Verantwortung der Bauleitung).</p>			

Abb. 31: Einsatzmöglichkeiten der Stahlbauweise

13 Bâtiments à ossature

L'ossature est la forme la plus répandue dans la construction métallique. Elle se compose de poteaux et de poutres formant un squelette qui sera rempli par les planchers et les parois non porteuses pour délimiter les espaces. Ces éléments seront mis en place à sec, ou, en association avec du béton, contribueront à une utilisation optimale des matériaux. La réalisation de bâtiments à ossature est caractérisée par une démarche rationnelle lors de leur conception, fabrication et montage.

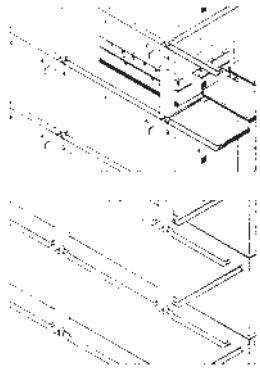
L'immeuble tour de Swisscom à Winterthur, de Burkard, Meyer & Partner (1999), illustre bien ce type de bâtiments. Autour d'un noyau central en béton, à fonction de stabilisateur, abritant les escaliers, les ascenseurs et les conduites, les poteaux mixtes sont érigés sur une trame de 5,6 m x 5,6 m. Ils ont un noyau en acier plein entouré d'une enveloppe en tôle (une section creuse rectangulaire servant en même temps de coffrage) remplie de béton. Cette solution garantit une grande capacité de résistance et une excellente protection contre l'incendie avec une section minimale. Sur les poutres en acier à large semelle inférieure sont posés des éléments préfabriqués en béton recevant une couche de béton coulé et formant avec les solives en acier une structure mixte (slim floor). La façade enveloppe la structure porteuse dont elle ne laisse apparaître que les planchers.

A première vue, la Teehaus à Neustift am Walde (1998) de Georg Marterer donne l'impression que la structure en grille de la façade est en même temps l'ossature porteuse. En fait, il s'agit de profilés ajoutés recouvrant les joints entre les éléments. La trame apparente correspond exactement à la structure porteuse derrière elle, basée sur un module carré de 2,46 m et qui sert de plan d'alignement pour les éléments mentionnés (baies vitrées, fenêtres

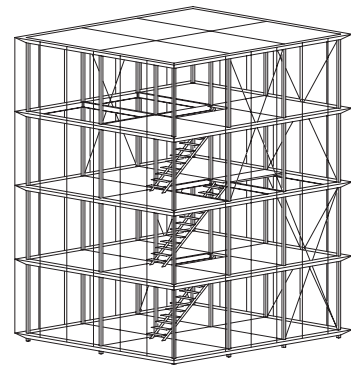
coulissantes et remplissages fermés). Comparable à la maison de vacances de Lacaton & Vassal à Lège Cap-Ferret (1998), bâtie au milieu d'un bois dense, l'ossature apparaît en relief dans l'espace intérieur.

Egalement comparable à cette maison de vacances mais à la différence de l'immeuble tour de Swisscom, il s'agit ici d'une réalisation à sec où seule la dalle du plancher a été coulée sur place. Le contreventement est assuré par des diagonales croisées, situées derrière les éléments; les dalles en béton reposent sur des tôles trapézoïdales.

Un autre exemple représente la maison d'habitation de Werner Sobek à Stuttgart. L'ossature en acier est composée de poteaux en profilés creux carrés et de poutres IPE. Le raidissement se fait par des tirants sur trois façades et dans les dalles. Des panneaux en sapin à trois couches (bois massif, 60 mm) et revêtus de résine époxy sont posés entre l'ossature. La façade rideau est constituée d'un triple vitrage isolant (valeur $U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$).



Ossature en acier avec éléments de plancher préfabriqués (slim floor). Burkard, Meyer architectes: Immeuble tour Swisscom, Winterthur, 1999



Maison Sobek: ossature en acier composée de poteaux en profilés creux carrés et de poutres IPE, Stuttgart 2001

Ossature visible depuis l'intérieur avec plafond en tôles profilées. Lacaton & Vassal: Maison de vacances, Lège Cap-Ferret (France), 1998

La grille visible montre les profilés qui recouvrent les éléments. Georg Marterer: Teehaus à Neustift am Walde, Vienne (Autriche), 1998



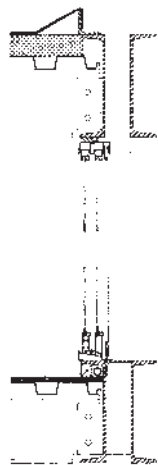
14 Treillis et façade

Si la portée des poutres dépasse une certaine limite, les profilés laminés usuels ne suffisent plus. Pour économiser de la matière et du poids, les poutres seront sous-tendues par un tirant, ou allégées comme poutres à âme évidée, ou remplacées par un treillis. Jusqu'à la première moitié du XXe siècle, l'assemblage de structures porteuses à partir de profilés très minces était la solution courante sinon l'unique possibilité pour couvrir des portées importantes. L'assemblage par soudure des éléments d'un treillis (membres inférieure et supérieure, montants et diagonales) demande toutefois beaucoup de travail. Ainsi, de nos jours, malgré une quantité plus grande de matière nécessaire, on recourt souvent à des poutres à âme pleine, composées de tôles soudées ensemble.

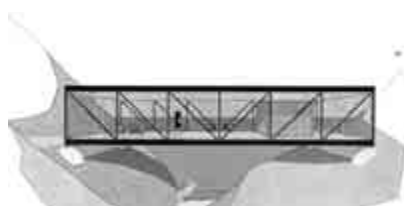
Malgré le surplus de travail, l'économie de poids déjà mentionnée, une plus grande facilité pour les conduites et une meilleure transparence plaident en faveur d'une structure composée de barres. On rencontre une telle solution par exemple dans le cas du dépôt de locomotives auf dem Wolf (1995) de Herzog & de Meuron, où les treillis permettent un éclairage zénithal. Les halles ont des parois en béton et une toiture en acier. Des treillis, associés deux par deux pour former des caissons, reposent à des intervalles de 13 m sur les pans en béton et couvrent une portée allant jusqu'à 40 m. Entre ces caissons en treillis hauts de 3 m et revêtus de verre Profilit pour assurer l'éclairage, sont suspendues les poutres du toit plat.



L'éclairage zénithal va de mur à mur. Revêtement en verre Profilit. Herzog & de Meuron: Dépôt de locomotives auf dem Wolf, Bâle, 1995

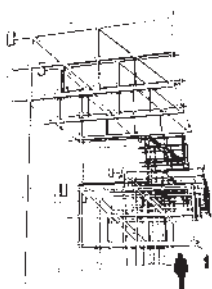


Une maison en forme de pont
Craig Ellwood: Maison de week-end, San Luis Obispo (USA), 1967/68



Alors que chez Herzog & de Meuron les treillis ne sont employés que pour la toiture, dans le cas de la maison de week-end de Craig Ellwoods à San Luis Obispo (1967/68), ils forment la structure primaire du bâtiment et en même temps la façade longitudinale. Telle un pont, la maison en forme de parallépipède franchit un canyon large de 18 m. Les treillis sont composés de deux profilés UNP comme membrures, et de tubes carrés comme montants et diagonales. Le plancher et le plafond reposent sur des poutres en acier disposées au droit des montants des treillis.

Dans ces exemples, la structure métallique marque l'apparence de l'édifice – chez Ellwood plus que chez Herzog & de Meuron où la structure est derrière un voile semitransparent. La structure en acier est entièrement dissimulée dans le cas des logements pour personnes âgées de MVRDV à Amsterdam (1997), où seul l'immense porte-à-faux des volumes à deux niveaux laisse deviner la présence d'une structure en acier en vue d'une économie de poids. Les ouvertures, dont les dimensions et la position sont déterminées par les barres du treillis, confortent ce raisonnement.



Une charpente en acier se cache derrière un revêtement en bois.
MVRDV: Logements pour personnes âgées, Amsterdam, 1997

15 Treillis spatiaux



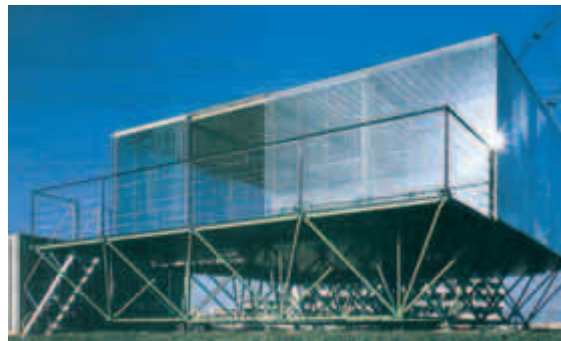
Nœud Mero avec barre raccordée. Vue et coupe

Les treillis spatiaux sont composés de barres minces et de nœuds, la plupart du temps sphériques, pouvant réunir jusqu'à 18 barres. Ils sont associés, en général, à la couverture de grande surface. Ainsi, par exemple, une telle structure, d'une hauteur de 4 m, peut couvrir des portées allant jusqu'à 120 m.

A côté de Konrad Wachsmann et Buckminster Fuller, qui s'étaient engagés dans le développement de ces structures légères pour toitures de grande portée, il faut également mentionner Max Mengeringhausen dont les nœuds Mero de 1942 ont un assemblage à vis utilisé de nos jours encore. Les treillis spatiaux sont constitués de pans de membrures supérieure et inférieure et de diagonales. Selon qu'il s'agisse d'une combinaison de tétraèdres, octaèdres ou cuboctaèdres, vues d'en haut, les barres des membrures supérieure et inférieure sont parallèles ou perpendiculaires.

Dans le cas du Sainsbury Centre for Visual Arts (1978) de Norman Foster, la structure spatiale est décomposée en poutres à trois membrures composées de deux poutres à treillis à membrures parallèles partageant une membrure inférieure commune. Ce qui est intéressant, c'est que la structure et l'enveloppe sont employées aussi bien pour la toiture que pour les murs. Dans ceux-ci, Foster met en valeur la hauteur de travée de 3 m pour y intégrer non seulement les conduites mais aussi un couloir d'accès. Les nœuds des poutres sont soudés, seules les diagonales reliant les deux poutres sont boulonnées, au fur et à mesure du montage.

Au pavillon des Etats-Unis de l'Exposition mondiale 1967 à Montréal, dû à Buckminster Fuller, la frontière entre mur et toiture a été entièrement abandonnée. La sphère tronquée aux trois quarts forme le contenant de l'exposition; à sa base, son diamètre mesure 110 m alors que son plus grand diamètre a la dimension imposante de 167 m. Tout cela est réalisé avec des tubes d'acier de 9 cm de



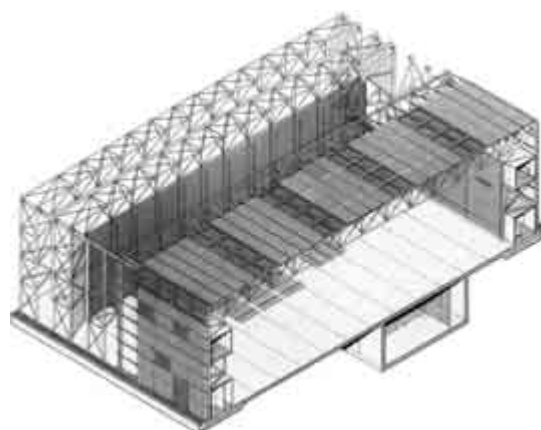
diamètre au maximum. A la différence de l'ouvrage de Foster, l'espace est délimité, ici, par des panneaux en verre acrylique posés sur la face intérieure du treillis. La forme hexagonale des panneaux correspond à la géométrie de la membrure inférieure alors que la membrure supérieure a une structure triangulaire.

La maison d'habitation de Benthem Crowel à Almere, Pays-Bas (1984) doit être considérée comme une extension de la fonction d'un bâtiment sans pour autant abandonner les principes de sa construction. Bien qu'à l'origine, ce devait être un ouvrage temporaire érigé sur un terrain de mauvaise qualité, la maison subsiste toujours et en 1991, elle a même été agrandie. On a choisi alors un treillis spatial facilement démontable qui devait répartir les charges de l'étage d'habitation sur quatre fondations ponctuelles, considérées comme des poteaux raccourcis. En le détachant du sol, le rez-de-chaussée est en même temps protégé contre l'humidité du terrain.

en haut à droite: Le treillis spatial répartit les charges de la maison sur quatre fondations ponctuelles. Benthem Crowel: Maison d'habitation, Almere (Pays-Bas), 1984

La sphère tronquée a un diamètre de 110 m à la base. Buckminster Fuller: Pavillon des Etats-Unis à l'EXPO'67, Montréal, 1967

Angle ouvert: Norman Foster: Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich (Royaume-Uni), 1978; Axonometrie



16 Losanges et diagonales

Les diagonales sont souvent des adjonctions destinées à doter la structure de sa rigidité nécessaire en l'absence d'autres éléments de contreventement comme des noyaux ou des murs de refend. Mais la diagonale jouit aussi d'une grande popularité comme élément porteur principal, que ce soit sous la forme d'un faisceau de poteaux inclinés selon un angle apparemment arbitraire (jeu de mikado), ou faisant partie d'une structure en forme de grille régulière. La fascination peut être attribuée à deux découvertes: a) les charges verticales et horizontales peuvent être reprises, apparemment sans hiérarchie, par une seule et même structure de barres, et b) le treillis peut avoir une qualité ornementale.

Les premiers exemples de structures en grille non orthogonale sont fournis par les tours dues à Suchov, à la recherche d'une solution économique en matériaux pour châteaux d'eau. Une comparaison impressionnante fournit la preuve du potentiel d'économie des tours réalisées exclusivement de cornières et de profilés en U. La tour de l'émetteur radio de Suchov à Moscou (1919 – 1922) mesure 350 m de haut et pèse 2200 tonnes. La tour Eiffel (1889) à Paris, elle, mesure seulement 305 m de haut et pèse néanmoins 8850 tonnes. Comparaison impressionnante, même si les deux ouvrages devaient répondre à des exigences différentes dues à leur utilisation respectives.

La forme de l'hyperboloïde est basée sur deux cylindres identiques composés de barres droites lesquels génèrent, par rotation des cercles à leur base et à leur sommet, une structure en grille composée de rhomboïdes. Les nœuds sont rivetés et, pour augmenter la rigidité de l'ensemble, on y a ajouté, côté intérieur, des anneaux horizontaux, ce qui donne en définitive, des triangles.

La médiathèque de Toyo Ito à Sendai (2001) constitue un exemple plus récent qui se rattache aux acquis de Suchov, et dont les quatre tours placées aux angles ont été cons-



à gauche: La toiture vitrée consiste en une structure de grille triangulaire. Norman Foster: Faculté de Droit, Cambridge, 1995

Des barres composées de deux profilés en U et disposées en spirale constituent un hyperboloïde. Vladimir G. Suchov: Tour d'émetteur radio Sabolovka, Moscou, 1919 – 1922

truites selon des principes identiques. Si chez Suchov et Ito, les éléments porteurs sont hiérarchisés, dans le cas de la Faculté de droit à Cambridge de Norman Foster, les éléments diagonaux et horizontaux de la voûte de la toiture, avec une portée de près de 40 m, apparaissent comme de même importance. La structure est composée de tubes de 160 mm de diamètre, dont un sur deux est sous-tendu. Il est intéressant d'observer que l'enveloppe en verre est détachée de quelques centimètres de la structure sous-jacente ce qui fait se poser la question de savoir si Foster voulait mettre en valeur la membrane, ou si, tout simplement, les profilés ronds ne permettaient pas de plaquer les fenêtres contre eux.

Cette dissociation est inconnue du Prada-Store de Herzog & de Meuron à Tokyo (2003). Les vitres sont fixées directement sur la grille qui, associée aux trois noyaux internes, porte les charges verticales. En ce qui concerne la transmission des forces, aux points de contact des losanges horizontaux, le potentiel des assemblages soudés fait l'objet d'une démonstration impressionnante. La sollicitation est, en effet, sensiblement plus élevée que dans le cas de losanges verticaux et de ce fait nécessite des assemblages rigides.



Toyo Ito: Médiathèque, Sendai (Japon), 2001: Les quatre piliers d'angle avec des barres qui se croisent, fonctionnent de façon analogue aux tours de Suchov. Les escaliers sont logés dans les piliers.

Structure des façades en forme de losanges. Herzog & de Meuron: Prada, Tokyo, 2003

17 Structures en forme de champignons

La plupart des structures porteuses sont basées sur des éléments qui n'acquièrent une dimension spatiale que par la seule répétition. Ainsi, les cadres (composés de deux montants et d'une traverse) doivent être au moins au nombre de deux pour définir un espace. Dans le cas de constructions en champignon, par contre, le module de base constitue déjà un ouvrage en soi. L'autonomie des champignons autorise même qu'ils soient séparés les uns des autres, à des distances qui peuvent être réduites à des fentes étroites, juste pour laisser passer la lumière, ou, au contraire, si importantes qu'un champignon supplémentaire peut y être suspendu sans sa tige.

La nouvelle gare d'Atocha à Madrid (1984 – 1992) de Rafael Moneo est tout à fait comparable à l'ouvrage de Nervi. S'appuyant également sur des poteaux en béton, les poutres du chapeau sont ici hiérarchisées car la face inférieure est composée de quatre triangles avec des poutres perpendiculaires au bord. Les interstices sont couverts de lanterneaux longitudinaux en pignon qui donnent l'articulation à la toiture.

Les champignons du terminal de l'aéroport Stansted à Londres (1991) de Norman Foster sont basés sur une toute autre conception. Ici, les champignons sont si éloignés



Arbres à 48 branches: von Gerkan, Marg & Partner: Aéroport de Stuttgart, 1990

La construction en forme de table donne l'articulation de la toiture supérieure de la halle. Rafael Moneo: Gare d'Atocha, Madrid, 1984 – 1992

Toit modulaire: Norman Foster: Aéroport de Stansted, Londres, 1991

La première catégorie comprend le «Hall of Labor» (1961) de Nervi où 16 champignons placés à une distance de 40 m définissent un espace carré flanqué à sa périphérie d'une suite de volumes secondaires à deux niveaux. Les champignons, hauts de 20 m, ont une tige en béton dont la section a la forme d'une croix à la base mais devient graduellement un cercle vers le sommet. Le chapeau du champignon est basé sur un tambour en acier auquel viennent se raccorder 20 poutres radiales identiques, entourées d'un profilé. Le côté inférieur du tambour et des poutres est incliné pour suivre le flux des charges. Comme les façades suivent le bord des champignons périphériques, la structure n'est observable que depuis l'intérieur.

l'un de l'autre qu'entre deux, un élément de toit supplémentaire, de 18 m de côté, a pu être suspendu. Du point de vue du matériau, il n'y a pas de divorce entre poteaux et toiture. Les poteaux se composent de quatre tubes (45 cm de diamètre) et ont une dimension dans l'espace, de plus, ils peuvent contenir des composantes de l'infrastructure. En raison des barres inclinées, toiture et poteaux se fondent en une structure spatiale unique.

On serait déjà tenté de parler d'arbres, mais cette image est traduite encore plus directement par von Gerkan, Marg & Partner. A l'aéroport de Stuttgart (1990), à partir de quatre tubes en acier, de 40 cm de diamètre, leurs «arbres» donnent naissance chacun à 48 «branches», dont la plus mince a une section de 16 cm seulement.

Champignon en béton et acier; surface couverte de 38 m x 38 m. Pier Luigi Nervi: Hall of Labor, Turin, 1961

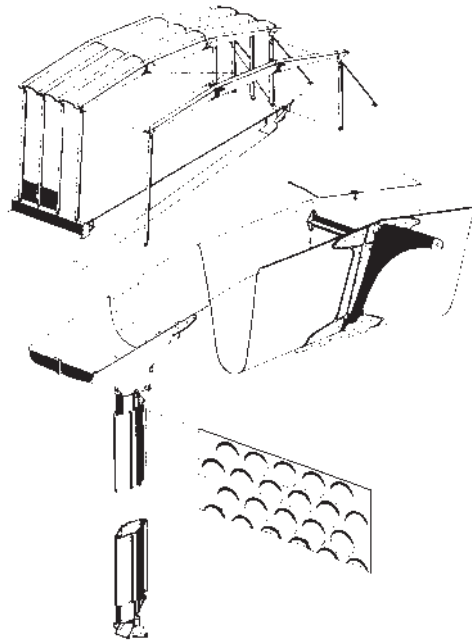


18 Plier et courber

Plier, une des techniques de base de l'usinage des métaux, caractérise le travail de toute une profession: la tôlerie. La tôle est, à côté du papier et du carton, le seul matériau qui supporte une telle déformation. En formant des nervures, les tôles minces acquièrent, par le pliage, une stabilité accrue, ce qui permet de poser de grandes plaques directement sur la structure porteuse, sans renfort additionnel. Ainsi, depuis leur invention en 1829, les tôles ondulées d'abord, puis les tôles trapézoïdales, sont très répandues, autant pour la couverture des toits, que pour la façade des bâtiments industriels.

Les travaux du constructeur français Jean Prouvé (1901 – 1984) avaient pour point de départ l'optimisation des revêtements. Il a développé des structures entières basées sur le pliage des tôles. Le pavillon érigé en 1954 à Paris, à l'occasion du centenaire de la production industrielle de l'aluminium, est exemplaire à cet égard. Le bâtiment, long de 152 m, était basé sur des poutres de 15 m de longueur, disposées à des intervalles de 1,34 m, avec des tôles placées entre ces poutres de telle façon que leur profil ouvert vers le haut fonctionnait comme un chéneau. Les poutres elles-mêmes étaient composées de trois parties assemblées sur place par des pièces de liaison en fonte. Ici, la parenté avec la construction de machines et de véhicules est manifeste. A l'observatoire construit par Jean Prouvé en 1951, la tôle devient un élément autoporteur. Le bâtiment a une section transversale en forme de parabole composée de deux demi sphères inclinées l'une vers l'autre. La forme courbe est obtenue par le lien rigide entre les tôles intérieures et extérieures.

Dispensés de toute exigence d'ordre physique des bâtiments, Hild und K ont réussi à réaliser les parois de leur abri à Landshut en une seule tôle, sans autre infrastructure. Les soubassements visibles ont été coupés dans la tôle d'acier Corten de 12 mm d'épaisseur, tout comme l'ornement. La base est constituée de deux plaques présentant chacune un pli de 90°.

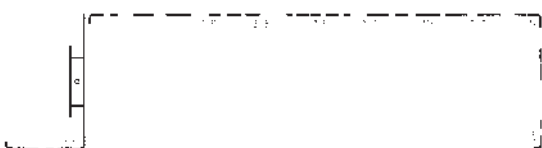


Détail de la structure et illustration. Jean Prouvé: Pavillon du centenaire de l'aluminium, Paris, 1954

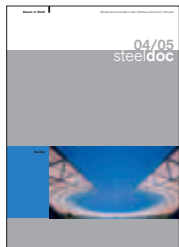


Montage des éléments sandwich. Jean Prouvé: Méridienne de l'observatoire, Paris, 1951

Hild und K: Abri, Landshut, 1999. Tôle d'acier au bord plié (12 mm d'épaisseur) comme élément statique; plan à gauche: échelle environ 1:140



19 Aides à la conception et bases de calcul



■ Publikationen im SZS-Verlag

Publications du SZS

Steeldoc est la documentation thématique d'architecture du Centre suisse de la construction métallique SZS. Elle est publiée au moins quatre fois par année et contient 24 à 40 pages. Des cahiers spéciaux de steeldoc mettant un accent sur les aspects techniques peuvent être commandés par série complète (steeltec).

Documentation

Tous les cahiers de steeldoc peuvent être commandés par numéros isolés. Dans les éditions du SZS sont également parues différentes publications sur l'architecture et la construction, ainsi que des publications de la Convention Européenne de la Construction Métallique (CECM). Voir site Internet www.szs.ch > Publications.

Aide-mémoires

	année	code
Exigences relatives à la résistance au feu. Aide-mémoire SZS (révision 2005)	2005	M 1
Informations de base en matière de peintures intumescentes	2006	M 2
Traitement de surface des constructions en acier (Cahier technique SIA)	2003	2022

Tables / Steelwork

Tables de construction steelwork C5/05, livre et CD-ROM (révision 2005)	2005	C 5
Tables de dimensionnement (selon SIA 263)	2006	C 4

Pratique de construction

Gestion des projets en construction métallique	2000	C 6
Détails de construction en charpente métallique	1996	C 8
Assemblages (plaques fontales, doubles cornières, appuis sans raidisseur)	2002	C 9.1
La construction mixte acier-béton résistant au feu	1997	C 2.4
Poteaux mixtes acier-béton en profilés creux carrés et rectangulaires	1993	C 2.3

Protection incendie

Classeur de cours «protection incendie et construction métallique», logiciel inclu	2005	C 10
Steeldoc: Protection incendie. Documentation technique	2006	Tec 2

A commander à www.szs.ch > Publications (les membres du SZS ont 20 – 30 % de rabais, les étudiants 30 – 50 %)

■ Autres publications

M. A. Hirt, M. Crisinel: Conception des charpentes métalliques, PPUR, Lausanne, 2005 (ISBN 2-88074-657-4)

M. Landowski, B. Lemoine: Concevoir et construire en acier, Arcelor, Luxembourg, 2005 (ISBN 2-9523318-0-4)

■ Logiciels

Le CD d'Arcelor «Section Range/Design Software» en 5 langues (E, S, F, D, I) contient – à part des tables avec les dimensions et valeurs statiques de la plupart des profilés laminés et les données Autocad des profilés en double té – des logiciels pour le dimensionnement des poutres, poteaux, portiques, treillis, des poutres et poteaux acier-béton, ainsi que des poutres alvéolaires et dissymétriques; le calcul au feu est traité par d'autres logiciels. Un lien Internet sert aux estimations de coûts. Commande par www.sections.arcelor.com. Des logiciels et des publications pour la conception et l'optimisation des planchers métalliques sont disponibles à www.globalfloor.com. D'autres sources de logiciels sont indiquées à la page 123 des Tables de construction C5 du SZS (voir aussi www.szs.ch > Produits, services).

■ Remerciement

Le Centre suisse de la construction métallique SZS exprime sa gratitude pour le soutien à la publication et la diffusion de la présente documentation à:

Arcelor Commercial Sections SA
66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette
www.arcelor.com



Sources

Andrea Deplazes (éd.): Architektur konstruieren – Vom Rohmaterial zum Bauwerk, Birkhäuser Verlag Bâle, 2005 (Chapitre Acier).

M. A. Hirt, M. Crisinel: Conception des charpentes métalliques, Presses Polytechniques et universitaires romandes PPUR, EPF Lausanne, 2005.

Marc Landowski, Bertrand Lemoine (éd): Concevoir et construire en acier (Arcelor, Luxembourg), 2005 (p. 20)

Steeldoc, documentation du Centre suisse de la construction métallique (SZS) et publications diverses du SZS

Plans dessinés par: Alois Diethelm (EPFZ); Tobias Oehmichen, Zurich (SZS); Claudio Leonardi, ICOM EPF, Lausanne

Photos et plans (de gauche à droite):

Titre: ©Heiner Leiska ([Stadion Köln, gmp](#))

Editorial: Hermann Fahlenbrach, Neuss (bâtiment administratif, Düsseldorf)

Introduction: p. 4 Stephan Rötheli, Zurich; Ruedi Walti, Bâle

Introduction: p. 5 Magazin Brickbuilder 1897); Deutsches Museum, Munich; Bayrische Staatsbibliothek, Munich. p. 6 Hans Ruedi Disch; de: Wohnhäuser der klassischen Moderne (Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart); de: Louis Henry Sullivan (Artemis Verlag, Zurich). P. 7 de: Le Corbusier, Skira Verlag, Genève 1987; de: Richard Neutra (Artemis Studio Paperback, Zurich); Scot Frances. P. 8 Josef Schulz; 3 photos Arcelor Sections, Esch-s-Alzette (L). P. 9 deux photos de: Guggenheim Museum Bilbao (Guggenheim Museum Publications, New York); Nigel Young (Bell-Pottinger), Londres; Christian Richters, Münster.

Bases de conception: p. 10 deux photos de: Bauen mit Stahl 15/1999 (SZS); P. 11 de: M. Dietrich, Ingenieurschule Burgdorf 1990. P. 13 de: Konstruieren mit Walzprofilen (Ernst & Sohn Verlag, Berlin). P. 14 plans de Hirt/Crisinel (voir en haut). P. 15 Hiroyuki Hirai; 3 plans de Hirt/Crisinel; Jensen & Skodvin Arkitektkontor AS, Oslo, N; Franz Keuzenkamp; Arcelor Sections. P. 16 Arcelor Sections. P. 17 Enrico Cano, Como. P. 18 Fotodesign Lan, Konstanz; 2 photos de Ralf Bensberg, Fällanden. P. 19 Arcelor Sections; plans de Hirt/Crisinel et SZS; P. 20 Volker Schmid, Londres; plans de Hirt/Crisinel; Arcelor Sections. P. 21 plans de: Landowski/Lemoine (voir en haut); Ralf Bensberg, Fällanden; Peter A. Wyss (pont). P. 22 + 23 plans de Hirt/Crisinel. P. 23 H. Abbadie/L. Boegly, Archipress. P. 24 plans de: Deplazes (voir en haut). P. 25 plans de Hirt/Crisinel et SZS; Arcelor Sections. P. 26 plans de Hirt/Crisinel; H. Abbadie/L. Boegly, Archipress. P. 27 – 20 plans de: Deplazes (corrigés par T. Oehmichen).

Application: P. 32 de: Werk, Bauen und Wohnen 11/2000, Zurich; Philippe Ruault; Georg Marterer; Josef Schulz. P. 33 Hisao Suzuki; de: Herzog & de Meuron 1989 – 1991, vol. 2 (Birkhäuser Verlag, Bâle). P. 34 de: Stahlbau Atlas (Birkhäuser); de: Bauwerk Tragwerk Tragstruktur (Ernst & Sohn Verlag, Berlin); Richard Bryant; de: Glasarchitektur (Birkhäuser Verlag, Bâle). P. 35 deux photos de: Detail, Nr. 7/2001, Munich; Christian Richters, Münster; de: Foster Catalogue 2001 (Prestel Verlag, Munich); de: Vladimir Suchov 1853 – 1939, Die Kunst der sparsamen Konstruktion (Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart); P. 36 de: Stahlbau Atlas, Birkhäuser Verlag, Bâle; de: A&V Monografias de Arquitectura y Vivienda, no. 36/1992, Madrid; Ken Kirkwood; 2 photos de Process Architecture, no. 23/1981, Tokio. P. 37 2. droite trois photos de: Laurence Allégret, V. Vaudou; Jean Prouvé et Paris (Ed. du Pavillon de l'Arsenal, Paris), 2001; dessous: de: Detail Nr. 4, Munich 1999.

Impressum

Steeldoc 01/06, mars 2006

Construire en acier. Documentation technique du Centre suisse de la construction métallique.

Editeur:

SZS, Centre suisse de la construction métallique, Zurich
Evelyn C. Frisch, Directrice

Conception graphique:

Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich
www.reflexivity.ch

Rédaction en chef et mise en page:

Evelyn C. Frisch, SZS

Rédaction technique:

Stephan Zingg, SZS

Traduction:

Pierre Boskovitz, Ste-Croix
(relecture: Michel Crisinel, ICOM)

Textes:

Acier – du matériau à l'ouvrage: Alois Diethelm
Bases de conception: Stephan Zingg, SZS et autres
Application: Alois Diethelm
(Les textes ont été retravaillés par la rédaction)

Photos et plans:

en collaboration avec EPF Zurich (Inst. Prof. Deplazes) et EPF Lausanne (ICOM); crédits voir à gauche

Administration:

Andreas Hartmann, SZS

Impression:

Kalt-Zehnder-Druck AG, Zoug

ISSN 0255-3104

Abonnement annuel: CHF 40.– /étranger CHF 60.–
Numéros isolés steeldoc CHF 15.–
Numéros isolés steeltec CHF 24.–
Changement de tarif réservé

Construire en acier/steeldoc® est la documentation d'architecture du Centre suisse de la construction métallique et paraît quatre fois par an en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent l'abonnement ainsi que les informations techniques du SZS gratuitement.

Une reproduction et traduction même partielle de cette édition n'est autorisée qu'avec l'accord écrit de l'éditeur et l'indication claire de la source. Le copyright des photos est réservé aux photographes.



Stahlbau Zentrum Schweiz
Centre suisse de la construction métallique
Centrale svizzera per le costruzioni in acciaio

Seefeldstrasse 25
Case postale
CH-8034 Zurich
tél. 044 261 89 80
fax 044 262 09 62
e-mail: info@szs.ch
Internet: www.szs.ch