

# 04/21 steeldoc

Plus que  
des bureaux



## Éditorial



Sur le campus universitaire de Francfort-sur-le-Main, le Philosophicum, un bâtiment classé de Ferdinand Kramer, a été converti en immeuble résidentiel offrant de petits appartements pour étudiants. La tâche n'était pas facile pour les concepteurs chargés de cette transformation, notamment en raison d'une structure porteuse externe en acier et d'une façade qui ne répondaient pas aux besoins énergétiques d'aujourd'hui. Le bâtiment converti a pu conserver son aspect des années 1960. Sa pérennité est assurée par son nouvel usage.

Mutation structurelle économique ou sociale, crises économiques ou sanitaires : de nombreux facteurs modifient en permanence les exigences envers l'environnement bâti. Pour que le patrimoine existant n'ait pas à être constamment remplacé à neuf, la qualité des structures, leur flexibilité et leur adaptabilité sont des conditions essentielles à sa préservation. En procédant de la sorte, la valeur culturelle des bâtiments et la valeur réelle des ressources et de l'énergie qui y ont été incorporées sont conservées.

Les immeubles de bureaux sont particulièrement exposés à l'évolution des demandes. D'une part, des lieux de travail flexibles sont nécessaires : le coworking, les espaces de travail partagés ou le travail par activités doivent motiver les personnes travaillant au bureau à atteindre des performances optimales. D'autre part, le télétravail est de plus en plus présent. Cela crée de nouvelles exigences d'articulations entre vie privée et vie professionnelle, libérant les immeubles de bureaux classiques existants. Comme le déclare Hubertus Adam dans son essai sur le défi architectural que représentent les immeubles de bureaux<sup>1</sup>, à la fois génériques et spécifiques, ces derniers sont «...une combinaison de gaines de desserte, d'une enveloppe, d'infrastructures techniques et de surfaces de planchers flexibles, aussi peu affectées que possible par la trame des appuis et pouvant être meublées et subdivisées de façon aussi efficace que possible. Pour leur conception interne, leur logique découlant du calcul économique les rend génériques en soi et sans attributs.» Les immeubles de bureaux offrent donc les meilleures conditions pour pouvoir être réutilisés, encore et encore.

Néanmoins, même dans les centres-villes, le taux de vacance est particulièrement élevé dans le parc des bureaux d'après-guerre car l'équipement technique de base y est obsolète et les plans d'étage ne répondent plus aux besoins contemporains. En parallèle, il y a un besoin accru d'habitations abordables dans les centres. Un exemple à Francfort-sur-le-Main montre comment un immeuble de bureaux universitaires peut se transformer en une résidence pour étudiants (fig. à gauche et en p. 8).

Une structure métallique en arche, statiquement découplée du bâtiment industriel existant, confère à l'immeuble de bureaux «Het Platform» la plus grande flexibilité possible, à l'intérieur comme à l'extérieur. Ses liaisons boulonnées rendent la structure porteuse théoriquement démontable et permettent des modifications ultérieures (à partir de la p. 4). HOH Architekten a conçu un système modulaire : une structure à ossature métallique à base de profilés laminés standard boulonnés, conçue pour créer des espaces flexibles pouvant où vivre et/ou travailler. Depuis 2019, Utrecht accueille un prototype répondant à l'usage contemporain des espaces de bureaux, mais pouvant également être habité dans un second temps (à partir de la p. 12). L'immeuble Brunel à Londres et son exosquelette d'acier combinent l'art de l'ingénierie avec les plus hautes exigences envers un immeuble de bureaux contemporain. L'intérieur, sans appuis, offre une flexibilité d'utilisation maximale et le bâtiment atteint les normes de durabilité les plus élevées (à partir de la p. 16).

Isabel Gutzwiller vous souhaite une lecture inspirante.

<sup>1</sup> Gigon, A., Guyer, M., Kölsch, A & Gutzwiller, I., (2019). Bürogebäude. gta Verlag. P. 18

## Ossature métallique avec colonne vertébrale en béton

### Maitre de l'ouvrage

Derwent London

### Conception structurale

Arup

### Architectes

Fletcher Priest Architects

### Achèvement des travaux

2019



Situation, 1:10 000.

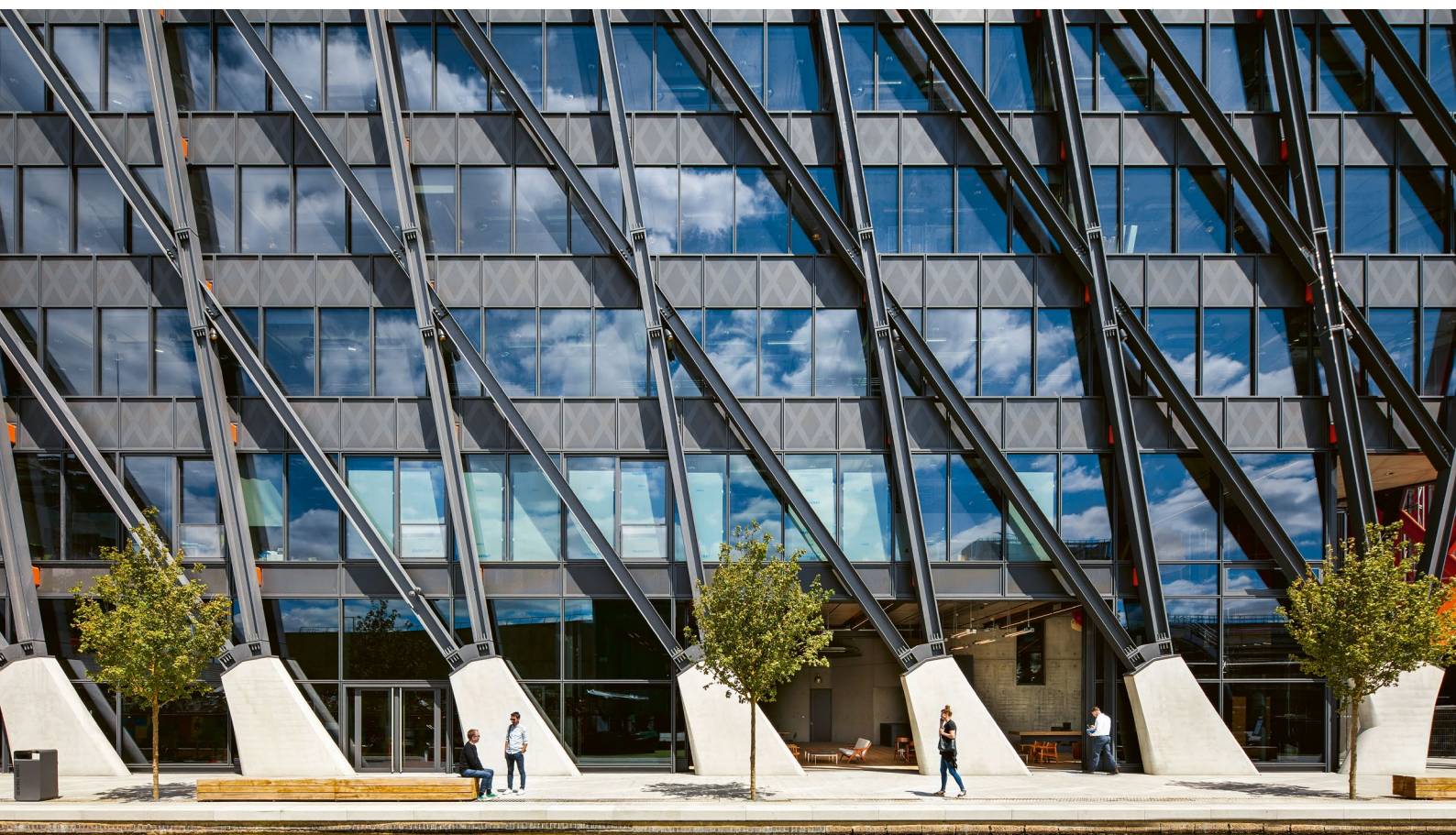
**Situé dans le quartier londonien de Paddington, l'immeuble Brunel est plus qu'un simple immeuble de bureaux. C'est un hommage, une pièce d'ingénierie démonstrative, un modèle pour des espaces intérieurs adaptables et centrés sur l'humain. Il est un symbole des efforts de durabilité dans la construction d'immeubles de grande hauteur et prend forme au sein du plus grand projet de développement de Londres de ces dernières décennies.**

Isambard Kingdom Brunel était l'un des ingénieurs britanniques les plus importants de la révolution industrielle. Dans une enquête publique de la BBC en 2002, il a été élu deuxième personnalité britannique de tous les temps, derrière Sir Winston Churchill et avant Lady Diana. Brunel a dirigé la construction du premier tunnel sous un fleuve navigable; celle d'une ligne de chemin de fer de 1500 km de long, y compris tous les ouvrages auxiliaires; celle du premier bateau à vapeur transatlantique à hélice; et il a conçu

la gare de Paddington à Londres. Ce n'est là qu'un extrait d'un palmarès qui nécessiterait probablement plusieurs vies professionnelles de nos jours.

Non seulement l'œuvre de Brunel est historiquement impressionnante, mais elle est aussi d'une durabilité exceptionnelle: certaines parties de la gare d'origine de Paddington – où la reine Victoria est arrivée à Londres, en 1842, lors de son premier voyage en train – existent encore aujourd'hui.

La plupart des charges verticales sont transférées au sol par l'exosquelette via des embases en béton. Chaque embase accueille un profilé d'appui et une diagonale.



C'est d'autant plus remarquable que le quartier Paddington a subi un changement vertigineux, passant de l'incarnation même d'un centre de transport et de commerce très fréquenté à une zone terriblement négligée par le développement urbain. Il a fallu attendre la mise en service de l'Heathrow Express en 1998 pour que Paddington figure à nouveau dans des projets de développement urbain.

### Initiative locale

De même, c'est peu avant le passage au nouveau siècle qu'a été créé le partenariat Paddington Partnership, plateforme de revitalisation du quartier. Au cours des vingt dernières années, divers propriétaires fonciers, communautés locales, financiers et partenaires de développement et de transport ont uni leurs forces pour créer, avec le Conseil municipal de Westminster, une nouvelle identité pour le quartier Paddington.

Cette réinvention urbaine devrait transformer le résidentiel vétuste en un quartier mixte avec des immeubles de bureaux de haute qualité. Le changement bat son plein et l'immeuble Brunel, achevé en 2019, en est un repère.

### Hommage démonstratif

La caractéristique la plus frappante de l'immeuble Brunel est son exosquelette réticulaire. À l'origine de cette structure, il y a le souhait de Derwent London, le maître de l'ouvrage, qui désirait une flexibilité maximale des surfaces utiles dans une structure avec le moins de poteaux possibles, et la contrainte de fondations sur mesure pour l'ouvrage, la parcelle étant située directement au-dessus du métro de Londres et à proximité immédiate du canal. En coupe horizontale, chaque étage du bâtiment est un polygone asymétrique (voir fig. p. 14). L'épine dorsale est formée de trois noyaux en béton armé disposés sur une ligne, à partir desquels des poutres à âme pleine rejoignent l'exosquelette. Alors que les noyaux en béton armé assurent la rigidité horizontale du bâtiment, l'exosquelette transfère les charges verticales dans le sol sans affecter les bâtiments existants environnants; la fondation est une fondation mixte radier-pieux. Le sous-sol de deux étages s'adosse d'un côté directement sur un bâtiment voisin.

Au-dessus du sol, l'immeuble Brunel se distingue principalement par son exosquelette métallique de 71 m de haut qui dépasse les deux derniers étages. Cette matérialisation s'entend comme un hommage à celui dont l'immeuble porte le nom. D'un point de vue purement géométrique, l'exosquelette se compose de multiples cerfs-volants concaves qui se che-

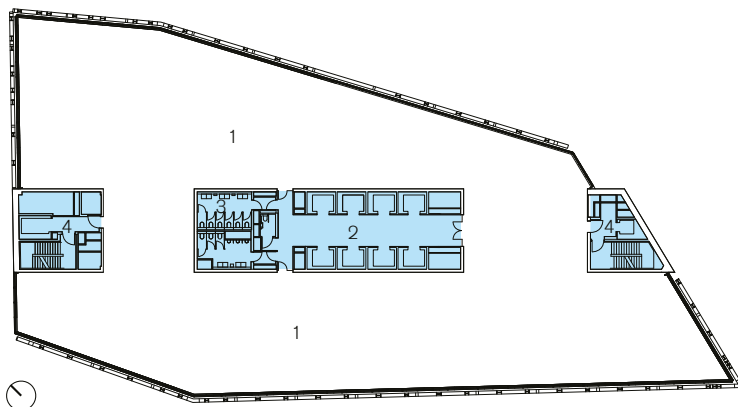


Vue de l'immeuble Brunel depuis le nord-ouest avec le canal de Paddington. De nos jours, le canal ne sert presque plus qu'aux loisirs.

vauchent et convergent en nœuds à l'un des coins du polygone ou se raccordent directement aux deux noyaux de béton extérieurs. Les mouvements en apparence aléatoires suivent en réalité une stricte régularité, mais à l'intérieur. Les planchers sont portés par des poutres à âme pleine parallèles entre elles, espacées de 6 m, régulières, qui assurent sans aucun appui intermédiaire toute la portée entre le noyau de béton et les structures de l'exosquelette (voir fig. p. 14 en haut à droite). Cette célébration externe de la construction métallique et le concept de structure porteuse qui en découle confèrent au bâtiment deux avantages majeurs. D'une part, l'usage et l'aménagement des pièces sont flexibles, elles ne sont traversées par aucun appui et leurs hauteurs varient de 5,5 m (étage standard) à 9 m (rez-de-chaussée); d'autre part, l'exosquelette fournit jusqu'à 25 pour cent d'ombrage de la lumière solaire directe. Mais il y a aussi un hic: tandis qu'à l'intérieur du bâtiment, la structure métallique est constamment à température ambiante, l'exosquelette peut être exposé à des amplitudes de température atteignant 80 °C, selon l'orientation et la période de l'année. L'équipe de conception a donc déterminé la dilatation thermique particulière de chaque liaison et défini les tolérances de mouvement correspondantes.

### Anatomie de l'ossature

Au niveau statique, l'exosquelette ne contribue pas à la stabilité latérale du bâtiment. Ce sont les noyaux

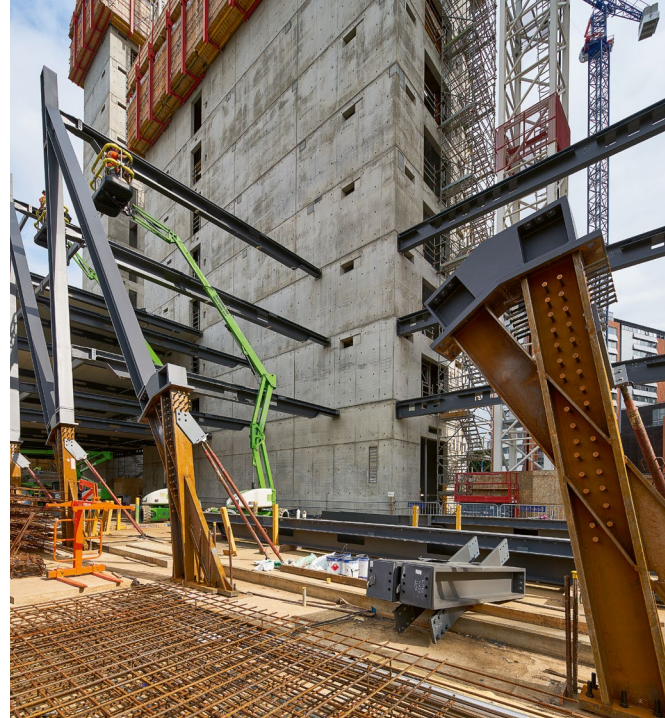


En haut : vue en plan d'un étage standard, 1:750.

- Noyaux béton rigidifiants
- 1 Bureaux
- 2 Ascenseurs pour personnes
- 3 Toilettes
- 4 Noyaux avec escaliers de secours

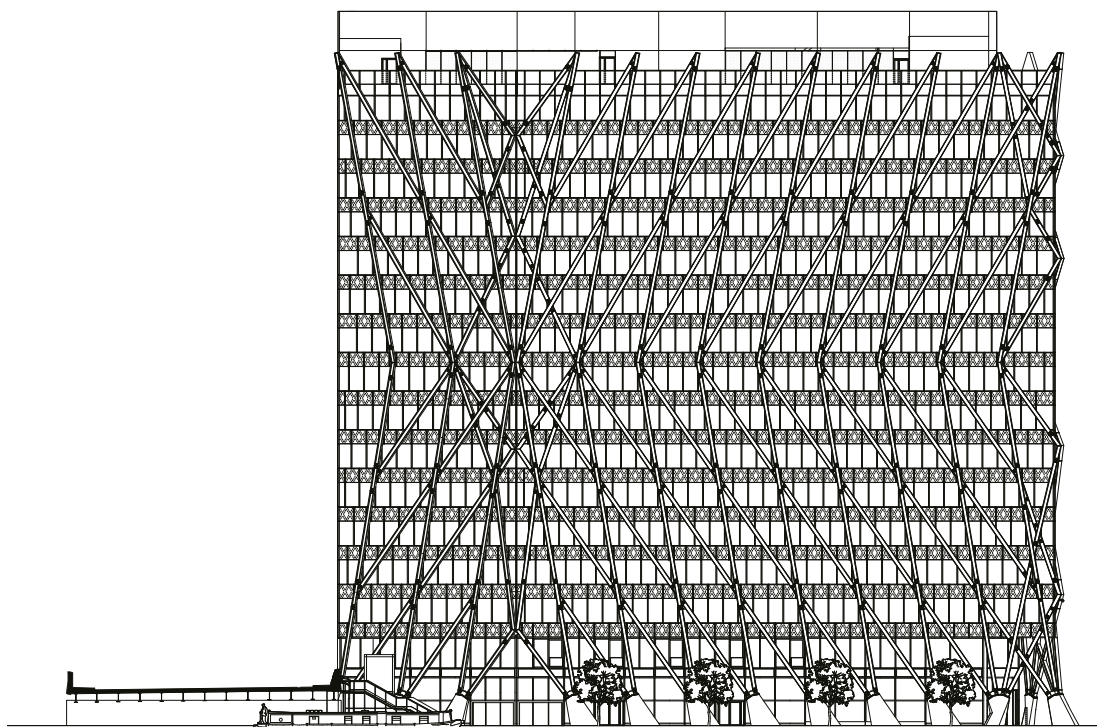
En haut à droite : après le bétonnage des noyaux, l'exosquelette a été érigé par phases de trois étages.

de béton intérieurs qui l'assurent: ils forment la colonne vertébrale de la structure et absorbent toutes les charges horizontales. Partant de ces cœurs, des poutres à âme pleine de 650 mm de hauteur, pouvant atteindre 18 m de longueur, assurent la liaison de la structure externe. Aux points où les poutres des planchers pénètrent dans la façade ou rejoignent le noyau en béton, les hauteurs de profilé descendent à 350 mm. Côté noyau, ce détail libère de l'espace pour les conduits de ventilation, et côté façade, cet amincissement réduit la surface de pénétration. Dans la travée entre la façade et le noyau, les poutres portent des ouvertures supplémentaires

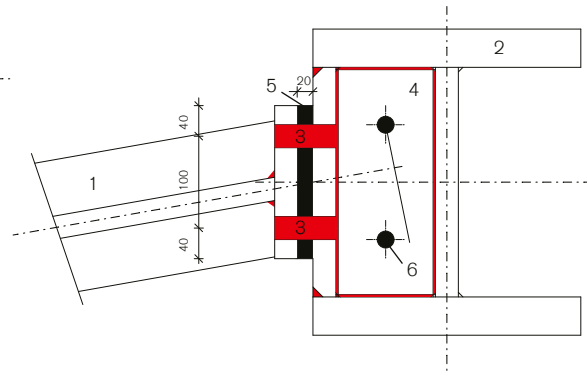
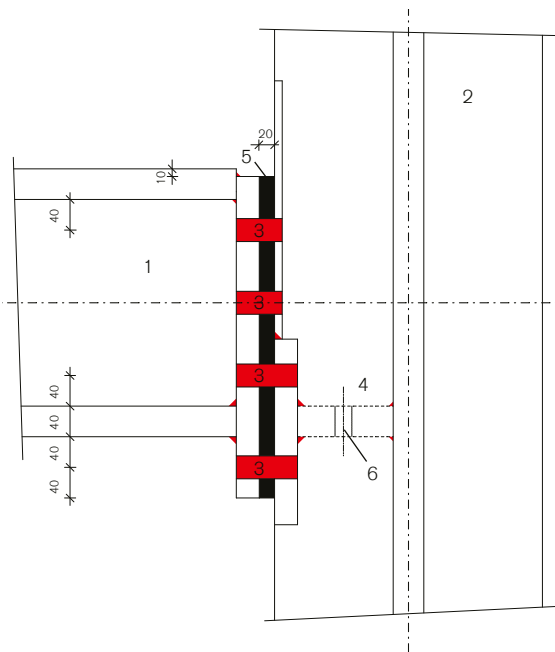


pour laisser passer des lignes d'équipements techniques du bâtiment, ce qui libère d'autant la hauteur sous plafond de ces pièces particulièrement hautes.

Lors de la conception de la structure en acier, les architectes ont attaché une grande importance à son uniformité. Les profilés d'appui inclinés de l'exosquelette, qui reprennent l'essentiel des charges verticales, sont des profilés en H uniformes (qualité d'acier S355) avec des ailes de 350 mm de largeur et une âme de 400 mm de hauteur. Leur liaison se fait par des plaques frontales (voir détail p. 16 en haut à gauche). Les diagonales qui les lient sont également



Vue longitudinale sud-ouest, 1:750.



- Détails de l'exosquelette, 1:10.  
Liaison poutre de plancher à l'exosquelette, élévation (à gauche); vue en plan (à droite)
- 1 Poutre de plancher (h 350 mm)
  - 2 Profilé d'appui, profilé H, h=400 mm, l=350 mm acier S355
  - 3 Boulon ajusté M27, classe de résistance 8.8 dans alésages Ø 29 mm
  - 4 Support de poutre de plancher
  - 5 Panneau de rupture thermique, d = 20 mm
  - 6 2 alésages d'écoulement des eaux, d = 33 mm
- ▲ Joint de soudure bord à bord intégral, poncé

toutes semblables, mais elles se connectent aux profilés d'appui via des couvre-joints d'âme et, du fait de leur fonction principalement stabilisatrice, ont des épaisseurs d'aile et d'âme moindres (voir détail p. 16 en haut à droite). Il en va de même pour les poutres de planchers soudées: elles sont toutes de même type et de mêmes dimensions globales, seules les épaisseurs de leurs âmes et semelles varient selon les sollicitations auxquelles elles seront exposées. La structure extérieure étant en pente, la position des poutres de plancher par rapport au noyau de béton varie à chaque niveau. Alors que le dimensionnement poutre par poutre avec des dimensions de profil et des détails de liaisons uniformes était relativement complexe, la structure des planchers a été conçue pour être simple. Les sections de dalle pratiquement continues de 6 m de large entre les poutres de plancher se composent de dalles semi-finies de 75 mm d'épaisseur, ensuite remplies de béton coulé sur place jusqu'à leur épaisseur attendue de 225 mm. Ces éléments semi-finis reposent sur des traverses longitudinales soudées à la poutre à âme pleine: la stabilité des poutres de plancher lors du bétonnage a été assurée par des diagonales travaillant en compression

intégrées dans les éléments semi-finis et des tirants temporaires sur les ailes inférieures des poutres de plancher. Ainsi, aucun appui temporaire n'a été nécessaire pendant la construction non plus.

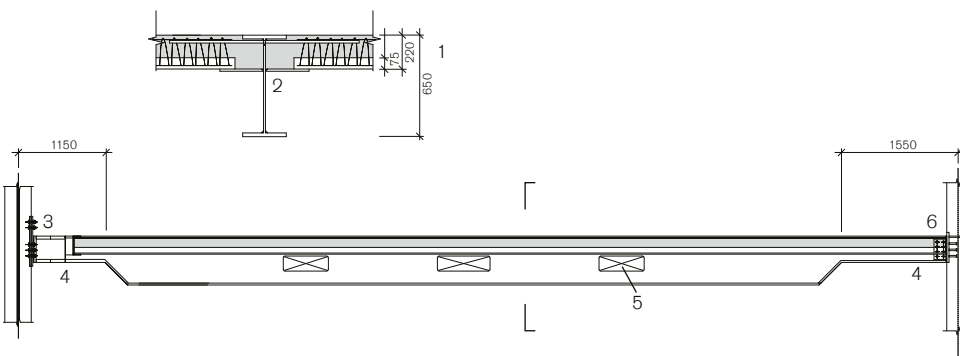
Le processus de construction a également suivi un schéma strict: une fois le noyau érigé, la première étape était de monter trois étages de l'exosquelette sur un quart angulaire. S'ensuivait l'assemblage des poutres des planchers sur l'exosquelette et le noyau en béton, puis la pose des plafonds en éléments semi-finis, bétonnage compris. Pour finir, les éléments de façade étaient installés derrière la structure extérieure. Une fois le tour complet fini, le chantier passait aux trois étages suivants. La division en quatre quarts angulaires a permis au maçon, au constructeur métallique et au façadier de travailler simultanément.

Partout cela était possible, on a utilisé des composants préfabriqués ou des éléments semi-finis, même pour les composants en acier de l'exosquelette. Ceux-ci ont été élaborés à l'aide de modèles réduits dans des sessions communes entre les archi-

À gauche: structure type d'un plancher, 1:50.

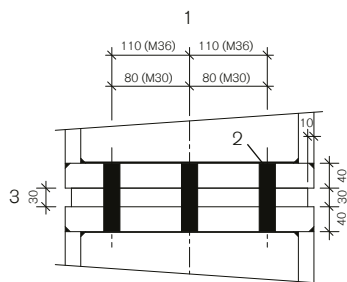
Plus bas: vue poutre de plancher, 1:100

- 1 Structure du plancher avec éléments semi-finis de 75 mm d'épaisseur et 225 mm de béton coulé en place
- 2 Poutre à âme pleine (h = 650 mm, profilés de dimensions uniforme, les épaisseurs de semelle et d'âme varient) avec traverse longitudinale soudée dessus
- 3 Liaison poutre de plancher à exosquelette (h = 350 mm), cf. détail en haut à gauche
- 4 L'aminçissement des poutres aux deux extrémités permet, côté noyau, de faire passer des équipements techniques, et côté façade, de réduire le point de traversée.
- 5 Les percements dans la poutre permettent de passer les équipements techniques.
- 6 Liaison de la poutre de plancher au noyau (h = 350 mm)



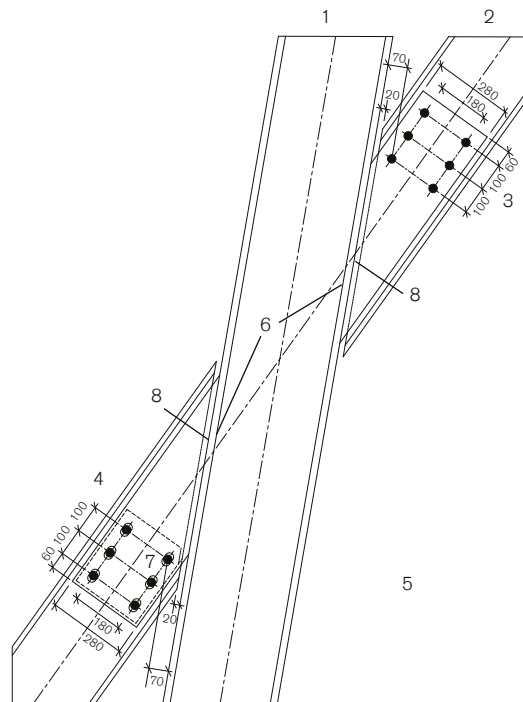
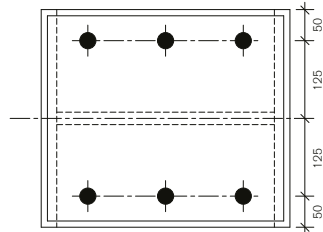
À droite : connexion profilé d'appui – profilé d'appui, vue dessus (en haut) et vue de face (en bas), 1:12.

- 1 Boulon ajusté, classe de résistance 8.8 ; en gén. M30, ou M36 sur certaines connexions
- 2 Soudure d'angle 8 mm (pour vis de précision M36 : 15 mm)
- 3 Platine 30 mm



Tout à droite : liaisons de l'exosquelette, vue de face, 1:26

- 1 Profilé d'appui, profilé H, h = 400 mm, l = 350 mm acier S355
- 2 Diagonale
- 3 Liaison « fixe » avec boulon ajusté M24, classe de résistance 8.8 et alésages Ø 26 mm dans l'âme de la poutre et couvre-joints d'âme
- 4 Liaison « mobile » avec trous oblongs 33 × 53 mm
- 5 Gousset tous les d = 30 mm, acier S355 posé sur la face extérieure de l'exosquelette
- 6 Cordon de soudure d'âme de poutre vers semelle localement plus gros au niveau couvre-joints d'âme pour correspondre au cordon de soudure du gousset
- 7 Couche polymère
- 8 Soudure d'angle ; si angle X > 50° : 10 mm, sinon : 8 mm



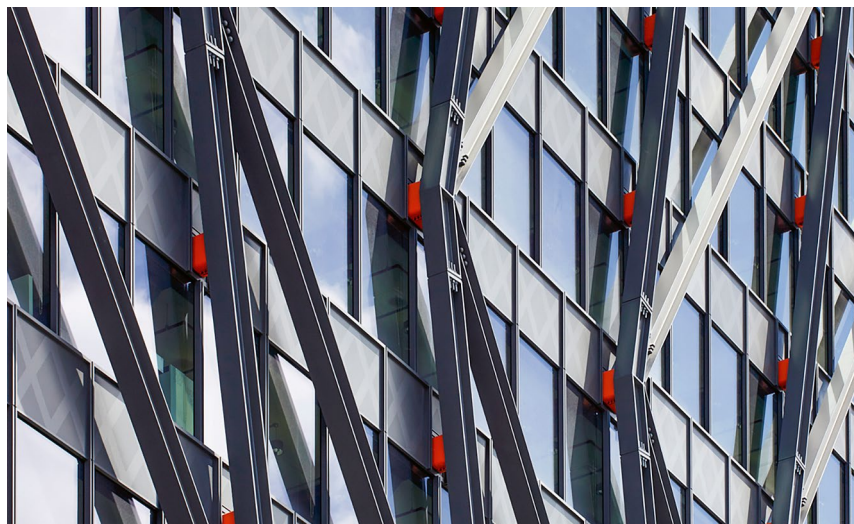
tectes, les ingénieurs structure et l'entreprise de construction métallique, soumis à une analyse statique complète, préfabriqués chaque fois que c'était possible et assemblés sur le chantier. Les plus grands éléments nodaux multiples de l'exosquelette font plus de 5 m de diamètre et pèsent environ 2 t. Les détails ont fait l'objet d'une attention particulière : par exemple, les couvre-joints d'âme des diagonales de l'exosquelette sont munies de trous oblongs d'un côté, qui, pour des raisons de stabilité, ont été fixés avec des boulons revêtus durant le montage. Mais à l'état final, pour éviter les contraintes parasites, ce sont des boulons ajustés normaux, ronds, qui assurent ces assemblages.

Bien évidemment, la conception et la géométrie de la structure extérieure ont aussi eu un impact sur la

façade effective du bâtiment. La façade se compose essentiellement d'allèges en aluminium à revêtement poudre, proches de la hauteur d'une table ou d'un bureau, surmontées de fenêtres à double vitrage décalées latéralement. Le montage des éléments de façade s'est fait depuis l'intérieur du bâtiment, les travaux d'entretien à venir pouvant être effectués de la même manière. Le point clé de la façade était assurément le point de pénétration des poutres de plancher (voir détail à la p. 15 ci-dessus). Pour éviter les ponts thermiques, les concepteurs ont développé une liaison sur mesure, à rupture de pont thermique, avec une plaque de séparation enveloppée dans une embase isolante qui peut être retirée pour les futures inspections.

#### Un contenu durable

En plus de tous les défis de conception, le maître de l'ouvrage s'est fixé pour objectif de construire l'immeuble de bureaux de grande hauteur le plus durable possible. Selon les informations fournies par l'entreprise, la suppression des plafonds suspendus a permis de réduire considérablement le CO<sub>2</sub> captif du bâtiment, de même que l'utilisation de cendres volantes dans le béton et le type de cure du béton. L'utilisation de la méthode « Conception pour la fabrication et l'assemblage » a également permis de réduire considérablement les déchets de construction sur site ; 98 % d'entre eux ont été recyclés. L'aluminium utilisé pour la façade était également composé à 65 % de matériaux recyclés. En revanche, aucune information n'est disponible sur l'acier de l'exosquelette. Pour son chauffage et sa climatisation, le bâtiment utilise une pompe à chaleur à eau souterraine avec des puits de forage profonds de 180 m. Les eaux grises des douches sont recyclées et utilisées pour la chasse d'eau des toilettes, ce qui réduit le besoin en eau potable d'environ 30 %.





En haut : étage de bureaux. Certains éléments structurels sont soulignés en orange, tout comme les quelques poteaux des étages supérieurs de l'immeuble Brunel.

Des mesures supplémentaires dans les équipements techniques du bâtiment, la masse thermique des noyaux en béton et l'ingénieux système d'isolation au point de pénétration des poutres traversant la façade amènent la consommation énergétique estimée en exploitation à l'achèvement à un niveau nettement inférieur à celui d'immeubles de bureaux comparables (benchmark «Econ 19»). L'immeuble Brunel a ainsi atteint le niveau «Breeam 2014 Excellent» et vise la certification «Leed Gold».

présente un attrait structural et architectural fort tout en étant conforme aux exigences de durabilité du maître de l'ouvrage. Et le concept des surfaces utiles flexibles a également trouvé ses usagers : l'intégralité des bureaux et autres espaces locatifs étaient déjà préloués avant leur achèvement. Chaque locataire a pu aménager son espace selon ses goûts. Grâce à la structure choisie, même des ouvertures de planchers pouvaient être envisagées.

En bas : la réception au rez-de-chaussée a une hauteur sous plafond de 9 m. Le comptoir de réception a également été réalisé à partir d'une poutre de plancher.

#### Dans l'air du temps

Dans l'ensemble, les architectes ont travaillé en étroite collaboration avec les entreprises de construction impliquées pour créer un immeuble de bureaux contemporain à l'échelle locale. L'immeuble Brunel

**Projet** Immeuble Brunel

**Lieu** Ville de Westminster, Londres (GB)

**Maître de l'ouvrage** Derwent London, Londres (GB)

**Conception structurale** Arup, Londres (GB)

**Architectes** Fletcher Priest Architects, Londres (GB)

**Construction** Laing O'Rourke, Londres (GB)

**Construction métallique** Severfield, Dalton (GB)

**Façade** Scheldebouw, Middelburg (NL)

**Type de construction** Exosquelette en acier avec noyau en béton armé

**Préfabrication et montage** Montage préfabriqué et semi-fini de la structure métallique et des planchers d'étages

**Nuances d'acier** S355

**SP brute** 22 500 m<sup>2</sup>

**Usage** Immeuble de bureaux

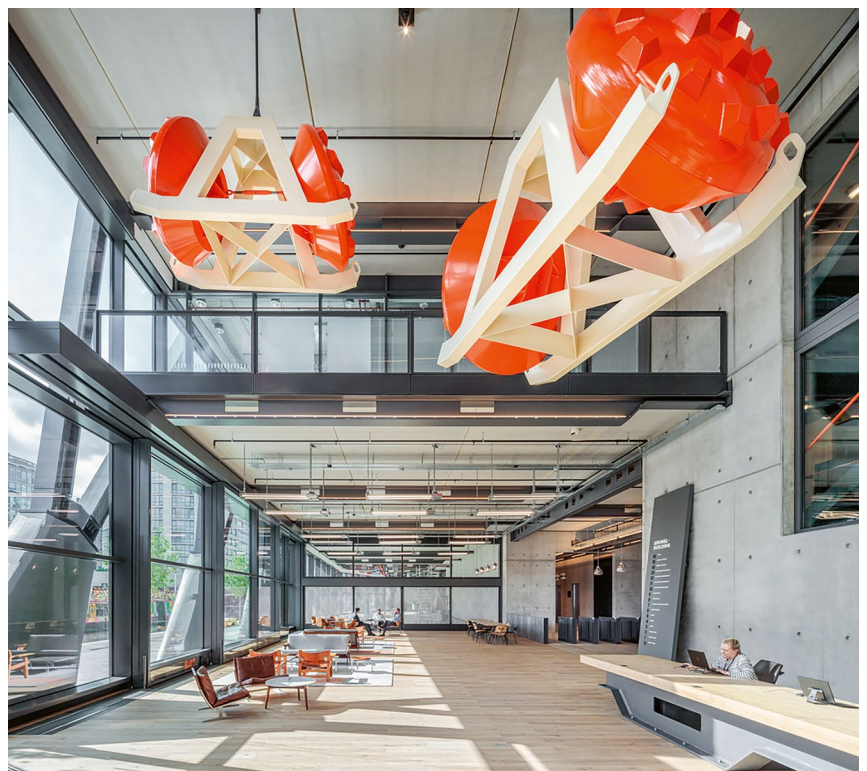
**Coût global** Env. 116 millions £

**Durée du chantier** 2016-2019

**Protection des surfaces et incendie** R60 : zones intérieures et extérieures triple couche

**Efficacité énergétique / durabilité** Breeam 2014 Excellent, Leed Gold (en cours)

**Récompenses** BCO Commercial Workplace Award ; Structural Steel Design Award ; CTBUH Facade Engineering Award for Excellence ; London Design Award





# Impressum

steeldoc 04/21, décembre 2021  
Plus que des bureaux

SZS Centre suisse de la construction métallique, Zurich  
Isabel Gutzwiller, Myriam Spinnler

Rédaction et textes :  
espazium – Les éditions pour la culture du bâti, Zurich  
Direction de projet : Franziska Quandt, Philippe Morel,  
Judit Solt  
Peter Seitz, pp. 4-7  
Clementine Hegner-van Rooden, pp. 8-11  
Ulrich Stüssi, pp. 12-17  
Clementine Hegner-van Rooden, pp. 18-22  
Secrétaire de rédaction : Philippe Morel

Traduction allemand-français :  
Interserv AG, Zurich, Michel Crisinel

Les descriptions des projets sont basées  
sur les données fournies par les concepteurs.  
Les plans proviennent des bureaux d'étude.

Mise en page :  
espazium – Les éditions pour la culture du bâti, Zurich  
Marcel Deubelbeiss

Photos :  
Couverture : Lorenzo Zandri  
Éditorial : Lisa Farkas  
pp. 4-7 : Lisa Farkas ; Lutz Kleinhans  
pp. 8-11 : Jarrik Ouburg ; HOH Architekten  
pp. 12-17 : Dirk Lindner ; Fletcher Priest Architects ;  
Jack Hobhouse ; Guy Archard  
pp. 18-22 : Lorenzo Zandri ; Space Encounters

Conception graphique :  
Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich

Impression :  
Stämpfli SA, Berne

ISSN 1662-2359

Abonnement annuel CHF 60.– / étranger CHF 90.–  
Numéros isolés CHF 18.– / numéros doubles CHF 30.–  
Sous réserve de changement de prix.  
A commander sur [www.szs.ch/steeldoc](http://www.szs.ch/steeldoc)

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 renseignements techniques du SZS gratuitement.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. La reproduction et la traduction, même partielles, de cette édition ne sont possibles qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication de la source.

**Abonnement annuel à steeldoc pour CHF 60.–  
(gratuit pour les étudiants) sur [www.szs.ch/steeldoc](http://www.szs.ch/steeldoc)**