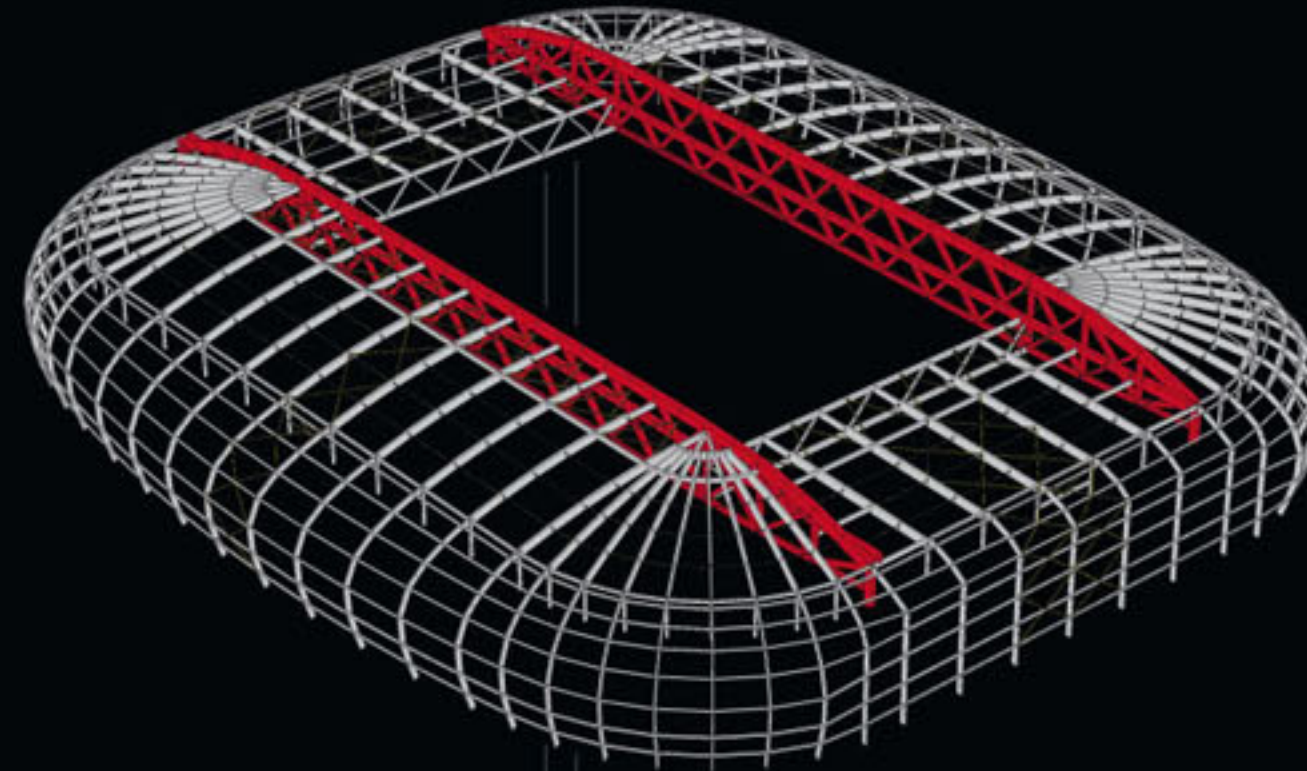




Ce livre sur le **BUREAU GREISCH** est à la fois un hommage au grand ingénieur René Greisch et à l'héritage intellectuel qu'il a laissé. Ce créateur d'ouvrages d'art d'une exceptionnelle rigueur technique et formelle a su mettre en place une équipe nombreuse pour les réaliser, et capable de lui succéder pour réaliser d'autres ouvrages. Quelque cent soixante ingénieurs travaillent aujourd'hui à Liège formant ensemble une équipe aux compétences très multiples, basée sur la transversalité et les échanges d'informations. Grâce aux disciplines de l'ingénierie qu'elle réunit en son sein, elle est à même d'affronter le défi des grandes réalisations imaginées un peu partout dans le monde. Elle met ses compétences au service de ces grands créateurs auteurs de projets mais développe aussi ses propres projets conçus au sein du bureau Greisch, tant en architecture que dans le domaine des ouvrages d'art. Dans un langage débarrassé des complexités techniques, ce livre analyse les plus grandes ou plus intéressantes missions réalisées par cette équipe, explicitant les difficultés rencontrées, les principes et les solutions mis en œuvre pour les surmonter. Il met à la portée des esprits curieux la compréhension des fondements de l'art de l'ingénieur. Au-delà de la volonté de faire connaître la qualité de ces réalisations, et d'inciter les maîtres d'ouvrage à une approche toujours plus rigoureuse des problèmes que pose notre société basée sur la maîtrise des techniques, il ambitionne aussi d'éveiller auprès des jeunes des vocations d'ingénieur.

PIERRE LOZE



ISBN 978-2930451-10-7



9 782930 451107

LE BUREAU GREISCH

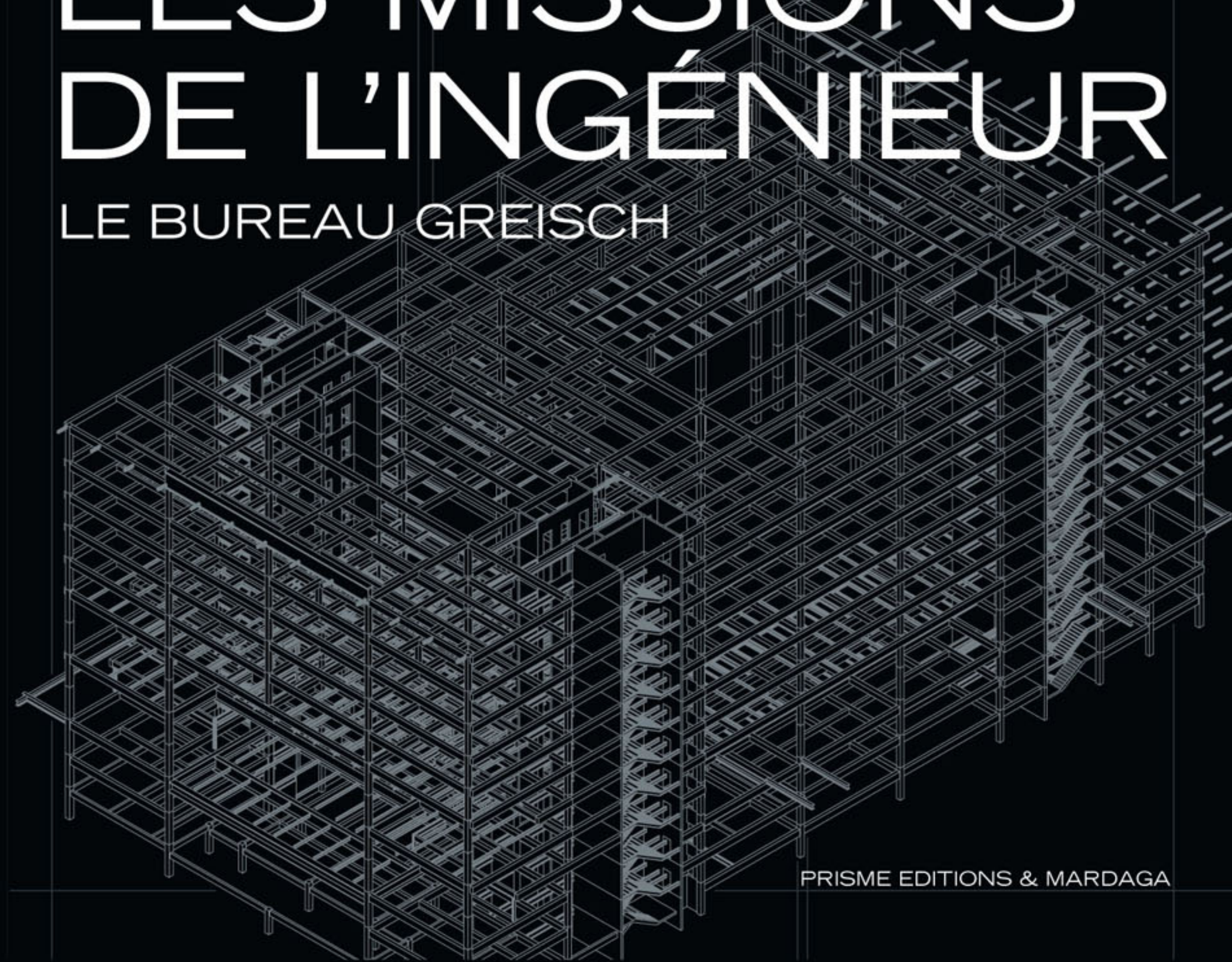
LES MISSIONS DE L'INGÉNIEUR

PRISME EDITIONS & MARDAGA



# LES MISSIONS DE L'INGÉNIEUR

## LE BUREAU GREISCH



PRISME EDITIONS & MARDAGA

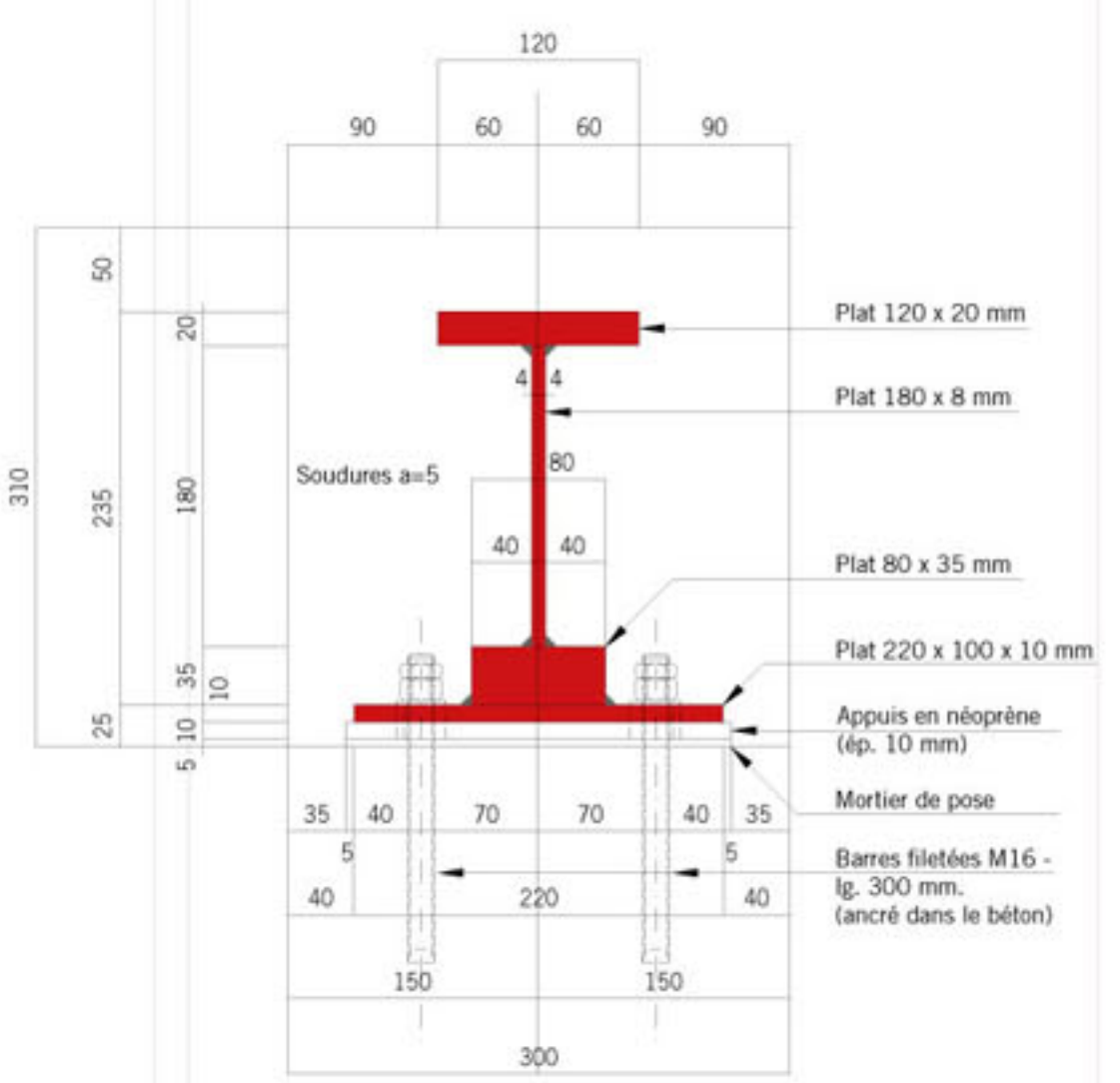
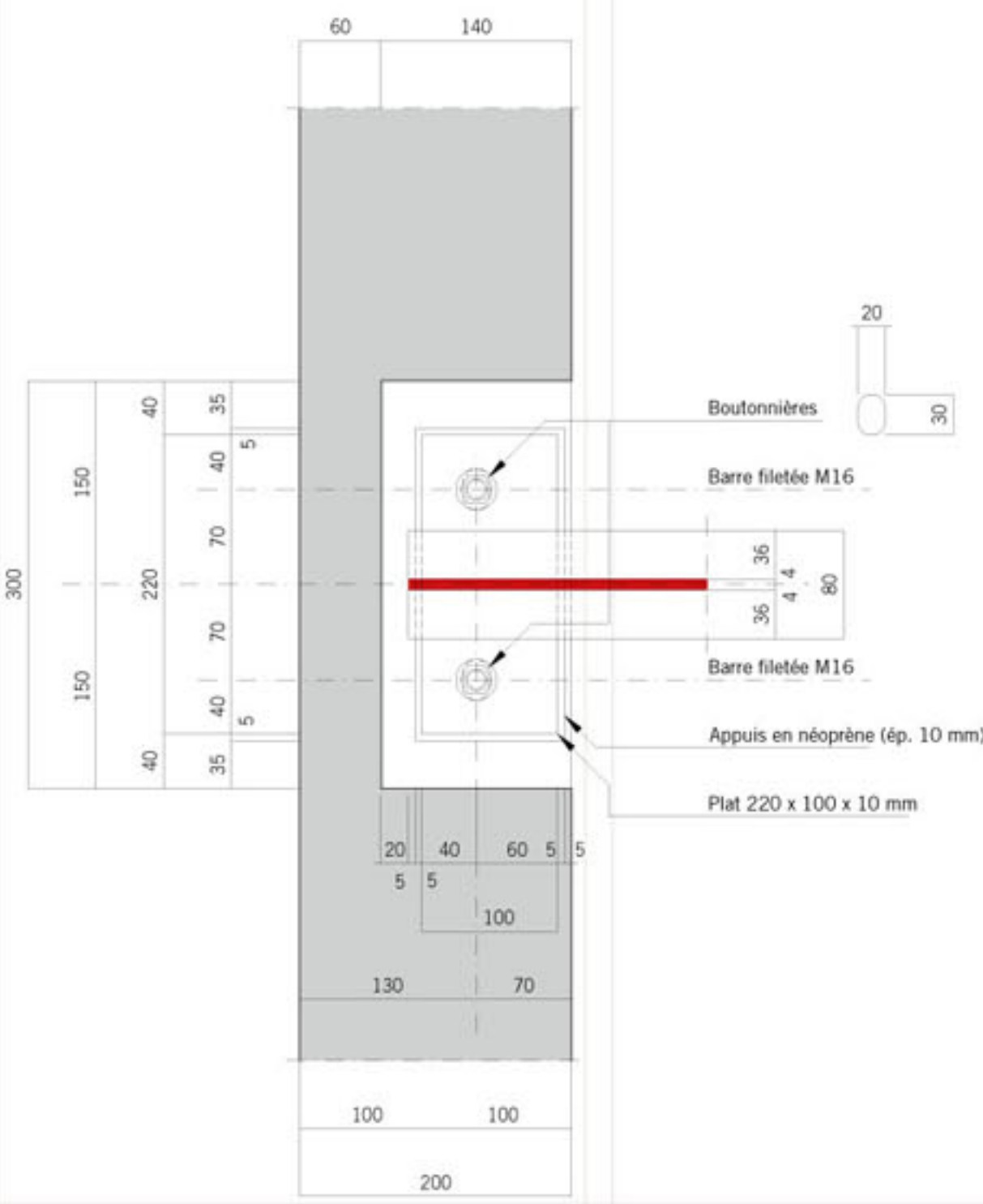


DE GAUCHE À DROITE Quelques réalisations du bureau Greisch ayant suscité des discussions à la fois techniques et esthétiques avec les architectes de la génération des années 80 et 90 : bOb van Reeth à Averbode, Crepain Binst, Group Planning et Pierre Hebbelinck à Bruxelles, Group Planning et Thierry Lanotte, et Philippe Greisch à Liège.

**CONSEIL EN BÂTIMENTS ET ÉTUDES DE STABILITÉ**

Après la collaboration avec les architectes qui ont bâti les bâtiments des campus universitaires de Liège et Louvain-la-Neuve, après la connivence avec les architectes liégeois des années 80, comme Charles Vandenhove et Bruno Albert, une nouvelle génération d'architectes a eu recours au bureau Greisch pour des études de stabilité et pour finaliser certains aspects de leurs projets nécessitant les compétences de l'ingénieur. Au lieu d'objecter des impossibilités techniques à partir d'un

répertoire de recettes de construction et de calcul, le bureau Greisch s'efforce de mettre l'invention au service de l'imagination des architectes. Pour cela, il faut comprendre chaque projet, épouser les conceptions qui l'animent, afin de leur donner des résonances constructives et techniques qui en amplifieront le contenu. Cette approche demande au départ une curiosité, un certain effacement face aux créateurs et une immersion complète dans la pensée de l'autre. Les échanges auxquels elle donne lieu procurent un enrichissement réciproque. Elle permet d'aller plus loin dans



CI-CONTRE PAGE DE GAUCHE  
 Vue de la résidence  
 Le Balloir.  
 Les façades portantes sont en béton préfabriqué teinté dans la masse.

CI-DESSOUS PAGE DE GAUCHE  
 Coupes des dispositifs de coupure thermique conçus pour la résidence Le Balloir. Architectes : Charles Vandenhove et associés.

CI-CONTRE À GAUCHE  
 La maison Widar  
 Architecte : Charles Vandenhove.

CI-CONTRE À DROITE  
 La maison Delsemme.  
 Architecte : Bruno Albert.



le projet, de transcender les contraintes et d'obtenir des bâtiments où l'invention formelle et technique s'unissent parfaitement.

Dans les années 80 et 90, de nombreux architectes ont ainsi confié au bureau Greisch leurs problèmes de construction les plus complexes, ou l'étude de solutions non conventionnelles susceptibles de donner à leur bâtiment leur caractère et leur originalité. Le nom du bureau Greisch s'est trouvé ainsi associé à celui des meilleurs créateurs du moment. Parmi eux, Bob van Reeth, Crepain Binst, le Group Planning,

John Berhaut, Pierre Hebbelinck, Daniel Dethier, Thierry Lanotte et Philippe Greisch pour ne citer que les plus connus, et parmi les architectes français, Jean Nouvel, et le groupe Repérage. La permanence de ce dialogue entre ingénieurs et architectes a contribué aussi à entretenir un haut niveau d'exigence formelle et technique au sein de l'équipe du bureau Greisch. Et pendant cette période, René Greisch s'est lui-même illustré dans la réalisation d'une série de créations architecturales qui ont immédiatement suscité l'intérêt.

Situé entre Clermont-Ferrand et Béziers, dans l'Aveyron, cet ouvrage permet à l'autoroute A75 de franchir le Tarn à cinq kilomètres à l'ouest de Millau. L'ouvrage a fait l'objet d'une concession de financement, conception, construction et exploitation confiée par l'État français à la compagnie Eiffage pour une durée de 78 années. Initialement, le Ministère de l'Équipement et des transports français avait organisé une consultation qui a mis en compétition en 1996 cinq équipes, composées d'ingénieurs et d'architectes. Le choix du Ministère s'est porté sur la solution d'un pont multihabané conçu par Michel Virlogeux, déjà concepteur du pont de Normandie.

#### SOLUTION BÉTON, SOLUTION MÉTAL

La nouveauté structurelle de son projet résidait dans la multiplication des pylônes supportant le tablier, système de fonctionnement encore non utilisé jusque-là. Sur le même dessin général, celui-ci avait proposé en hypothèses conjointes deux solutions de réalisation : l'une tout béton, l'autre avec tablier et pylônes métalliques. L'architecte anglais Norman Foster a contribué au dessin général de l'ouvrage et épuré ses lignes, en supprimant les pilettes disgracieuses des travées d'approche, en portant les travées de 320 à 342 m et en affinant le dessin des piles et des pylônes.

#### LA SOLUTION MÉTAL L'EMPORTE

À partir de ce dessin affiné, l'État français a mis l'ouvrage en compétition auprès des entreprises de construction et de gestion de l'ouvrage terminé. Le groupe Eiffage qui comporte en son sein Eiffel devenu Eiffage Construction Métallique s'est alors tourné en janvier 2000 vers le bureau Greisch afin qu'il d'étudie la faisabilité de la construction de ce viaduc, avec un tablier métallique. Pour augmenter ses chances face à d'autres entreprises concurrentes comme Bouygues et Vinci, unies pour la circonstance et spécialistes du béton, Eiffage a également étudié parallèlement la faisabilité de la solution béton. C'est finalement le groupe Eiffage qui a emporté le marché avec la solution métal.

Mais le choix du métal ne constituait pas qu'un argument dans la concurrence entre les entreprises de construction et les industries de l'acier et du béton. En effet la solution béton impliquait une construction toute en hauteur, en encorbellement de part et d'autre des piles, avançant par deux demi-travées ou fléaux qui s'équilibrent. En cours de chantier, la tenue au vent à une hauteur d'environ 268 m demeurait très aléatoire et pouvait susciter des inquiétudes pour l'ouvrage et entraîner des risques considérables pour les hommes.



**ACCOSTAGE** Terme de navigation utilisé par extension pour désigner le moment où un tablier de pont, mis en place par poussage ou lançage, aborde un appui, généralement avec une flèche vers le bas due à sa déformation propre. voir *Avant-bec*



0-COINTE L'accostage de l'avant-bec sur la pile suivante du pont-canal de Houdebeg Algérie

**À LA CLÉ** À la partie la plus haute d'un arc. Milieu de l'arc. Distance à la clé.

**AME** Partie relativement mince et généralement verticale ou légèrement inclinée d'une poutre ou d'un caisson comprise entre la membre supérieure et la membre inférieure.



**APPAREIL D'APPUI** Dispositif généralement installé en haut des piles et des culées des ponts pour permettre les déformations (déplacements et rotations) du tablier (poutres ou caissons) sous l'effet de la température et des charges d'utilisation.

**APPUIS À GROS** Appui pourvu d'un élément cylindrique ou sphérique formant une rotule permettant un certain mouvement entre le tablier et les piles d'appui d'un pont.

**APPUIS DE GLISSEMENT** Dispositifs placés en haut des piles ou sur les palées provisoires et conçus pour faciliter le glissement au cours des opérations de poussage ou de lançage du tablier sur les piles. Les blocs d'appuis sont équipés de téflon, matériau qui limite le frottement et diminue ainsi l'effort de poussage et le risque de basculement des piles.

**APPUIS INTERMÉDIAIRES** Dans une structure, tous les appuis qui supportent une poutre excepté les deux appuis d'extrémité.

**ARMATURAGE** Disposition des fers dans un ouvrage en béton. On parlera d'armature passive ou d'armature classique par opposition à la précontrainte ou la postcontrainte qui sont considérés comme des armatures actives.



**ARMATURE** Ensemble des fers disposés dans une structure en béton armé. Bâtes ou tiges métalliques le plus souvent ondulées, disposées dans le béton pour en augmenter la résistance.

**ALUGETS** Éléments métalliques profilés en forme de U soudés sur les têtes, formant avec elles une sorte de

tube, destinés à renforcer les dalles de platelage des ponts métalliques ou les parois des poutres ou caissons de leurs tabliers, afin qu'ils résistent mieux aux sollicitations du trafic.

**AVANT-BEC** Pièce de métal en forme de bec pointu, allongé et parfois relevé, fixé à l'extrémité du tablier au cours du poussage ou du lançage d'un pont afin de faciliter l'accostage du tablier sur les piles ou les palées provisoires. Il permet de pallier la flèche due à la déformation du tablier sous son poids propre au moment de l'accostage.



0-COINTE L'avant-bec du tablier du Pays de Liège

**BALJOYER** Paroi latérale d'une chambre d'écluse. Par extension, paroi verticale d'un pont-canal.

**BARGE-PONTON** Embarcation plate en acier offrant une plateforme de travail et capable de porter une grue ou des charges importantes.

**BARRETTES** Éléments de mur dans le sol, obtenus par bétonnage d'une fouille étroite et profonde préalablement remplie d'une boue argileuse destinée à en maintenir les parois, et dans laquelle on immerge des cages ou des treillis d'armatures. Les barrettes sont utilisées soit comme éléments de fondation d'immeubles lorsque le sol a une faible capacité portante, soit en paroi moulée lorsqu'elles sont réalisées jointives pour former une paroi destinée à retenir des terres ou une paroi verticale étanche.

**BATAREAU** Ouvrage provisoire, tel que digue ou enceinte de palplanches, dont le rôle est de mettre à sec un chantier normalement sous l'eau, ou en danger de l'être,

en vue de permettre l'exécution de travaux commodément, sans risque de submersion. Barrage mobile fait de grosses poutres de bois prévues pour être glissées dans des rainures aménagées dans des piles ou les culées des ouvrages hydrauliques.

Par extension, barrage fait d'éléments métalliques (palplanches) rainurés formant ensemble un ouvrage provisoire permettant de travailler à sec dans un canal.



**BÉQUILLES** Dans un pont à béquilles, pièces structurales ou bracs soutenant le tablier en oblique à partir des culées.



0-COINTE Pont à béquilles de la Grande Ravine à La Réunion

**BÉQUILLES D'ACCOSTAGE** Dispositif mis au point pour permettre le nivellement du tablier déformé par son propre poids, afin qu'il se pose correctement sur les têtes des piles au cours des opérations de poussage ou lançage.

**BÉTON AUTO-FLAÇANT** Béton dont la fluidité a été grandement améliorée par incorporation de « fluidifiant » et qui ne nécessite pas de vibration, la compaction s'effectuant par le seul effet gravitaire.

**BENTONITE** Minéral argileux formé de très fines particules gonflant au contact de l'eau et formant une boue, utilisé pour maintenir, lors du creusement, les parois de pieux de fondation ou d'ouvertures réalisées dans des sols meubles pour y créer des barrettes ou des parois moulées en béton.

**BÉTON VIBRÉ** Le procédé de vibration permet d'obtenir une bonne mise en place du béton dans le coffrage qui resseme le matériau autour des armatures et élimine les poches de vide. Le vibreur pénètre dans le béton et permet de traiter le béton par couches de 30 cm d'épaisseur pour le compacter en faisant remonter à la surface les bulles d'air qui sont incluses.

**BIPOUTRE** Structure composée de deux poutres parallèles travaillant en commun et reliées entre elles par des entretoises et, dans le cas des ponts, par la dalle de platelage. Les poutres peuvent être remplacées par de petits caissons sans entretoise. Ce système structurel est économique pour les faibles portées, alors que le caisson unique s'impose pour les portées plus grandes.



0-COINTE Pont bicaisson de la Haute Syle, grand-duché de Luxembourg



**BOSSAGE** Toute saillie laissée à dessein sur un ouvrage de pierre ou en béton. À l'intérieur du caisson d'un tablier en béton précontraint, saillie par rapport aux parois où sont logés les ancrages d'extrémité des câbles de précontrainte. Dans un tablier d'un pont haubané ou la culée d'équilibrage, zone renforcée où se place l'ancrage d'un hauban.

0-COINTE Bossages d'ancrages des haubans de la culée d'équilibrage du pont de Laroze.



**BOW-STRING** Type de pont ayant une structure faite d'un ou plusieurs arcs dont les bases (naissances)

sont reliées entre elles par une poutre-tablier servant de tirant et munie de suspentes verticales ou obliques faites de barres ou de câbles métalliques reliant l'arc et la poutre du tablier. L'arc travaille en compression et le tirant en traction. Lors du passage d'un convoi, le poids du convoi appliqué sur le tablier est transmis aux arcs par les suspentes, augmentant ainsi la compression dans l'arc et la traction dans le tablier-tirant. La flexion du tablier est ainsi diminuée par l'effort transmis aux arcs par les suspentes. Au lieu d'être placés verticalement, les câbles ou suspentes peuvent être disposés en V ou en X. Les ponts bow-string sont apparus dès le XIX<sup>e</sup> siècle. Ce type de structure a permis de franchir des brèches importantes en maintenant sous l'ouvrage un gabarit de passage important. Il est utilisé principalement en ouvrage unique dans un paysage relativement plat et au-dessus des voies navigables. Il a aussi permis de réaliser des viaducs comportant plusieurs bow-strings successifs posés sur des piles intermédiaires.



Pont en arc



Pont bow-string



Suspentes verticales



Suspentes en V



Suspentes croisées



Suspentes radiales

**BRACON** Éléments de structure généralement comprimés en béton ou en métal supportant le tablier ou tout élément de structure (tête).



0-COINTE Les bracs du tablier du pont de Liège

**BRIDAGE** Lorsqu'un objet est soumis à des variations de température, ses dimensions évoluent. Par exemple, sa longueur augmente si la température s'accroît, sans modifier les tensions auxquelles il est soumis. Par contre, si cet objet est maintenu

en intégrant les parties anciennes et les aménagements intérieurs des grandes salles qui avaient pu être conservées. Des jardins modernes ont été établis dans les cours. Le bureau Greisch a accompagné toutes les phases de conception et d'exécution en faisant intervenir ses ingénieurs de stabilité et son équipe spécialisée dans les techniques de restauration du patrimoine. Les relevés in situ des structures et les rempiètements des maçonneries, l'examen des techniques anciennes de construction, les études de stabilité et le choix des technologies adéquates de restauration et de renforcement, de même que les études parfois très élaborées pour limiter au maximum les interventions nouvelles sont le lot des ingénieurs qui accompagnent de telles interventions. Tous les renforcements de structure existante ont été réalisés avec un souci de préservation de l'existant et de réversibilité possible, conformément à la charte de Venise.

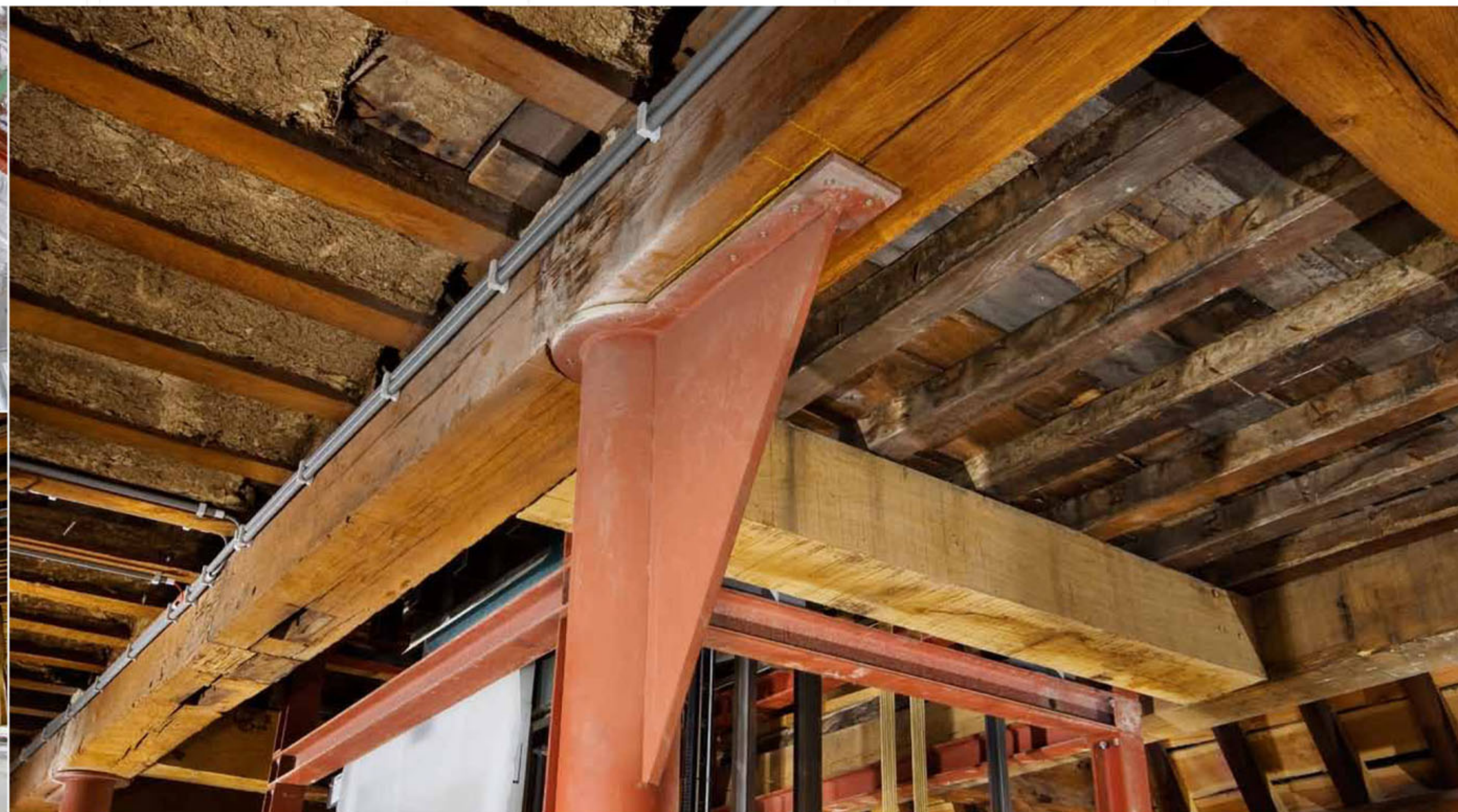
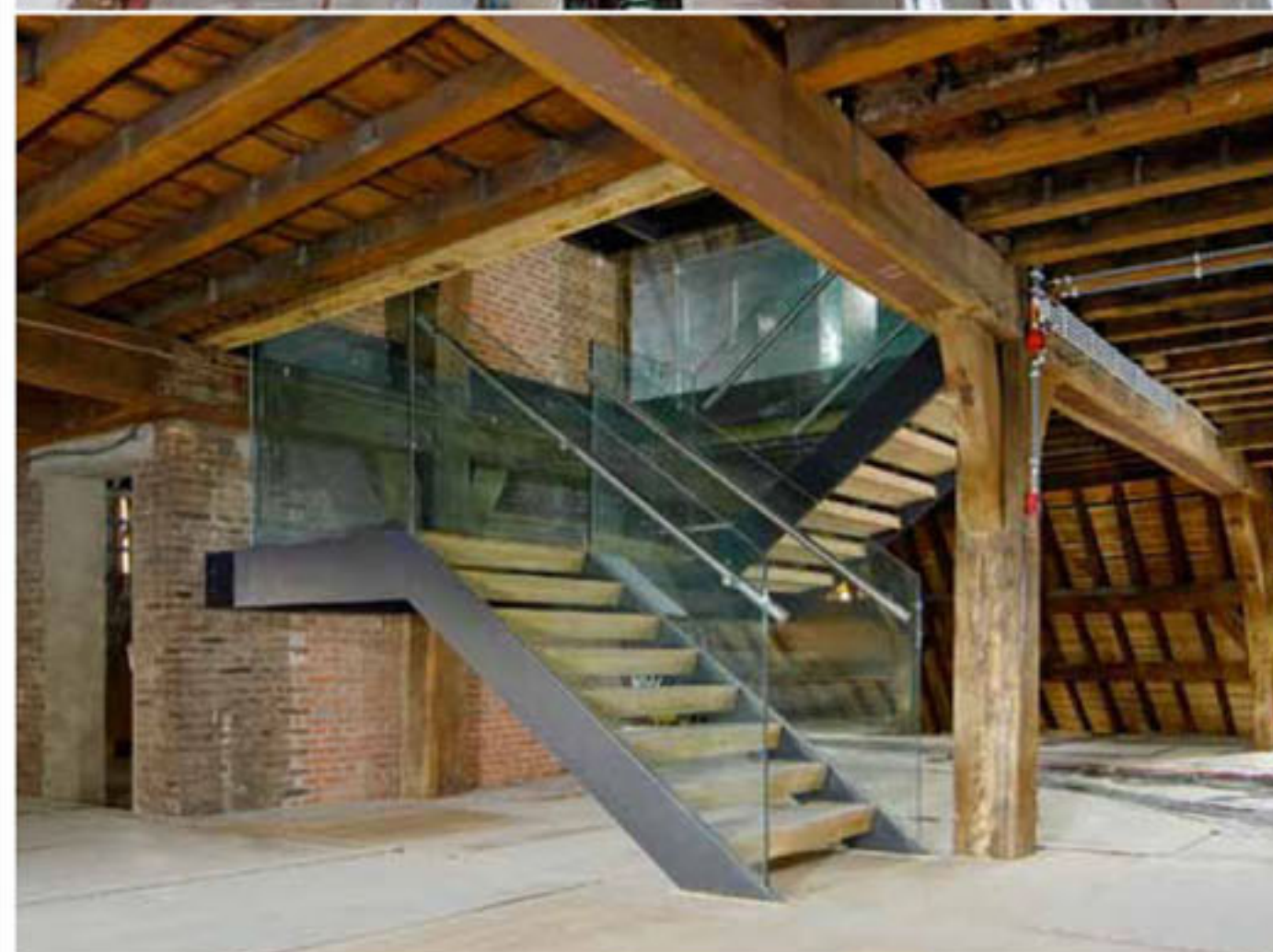
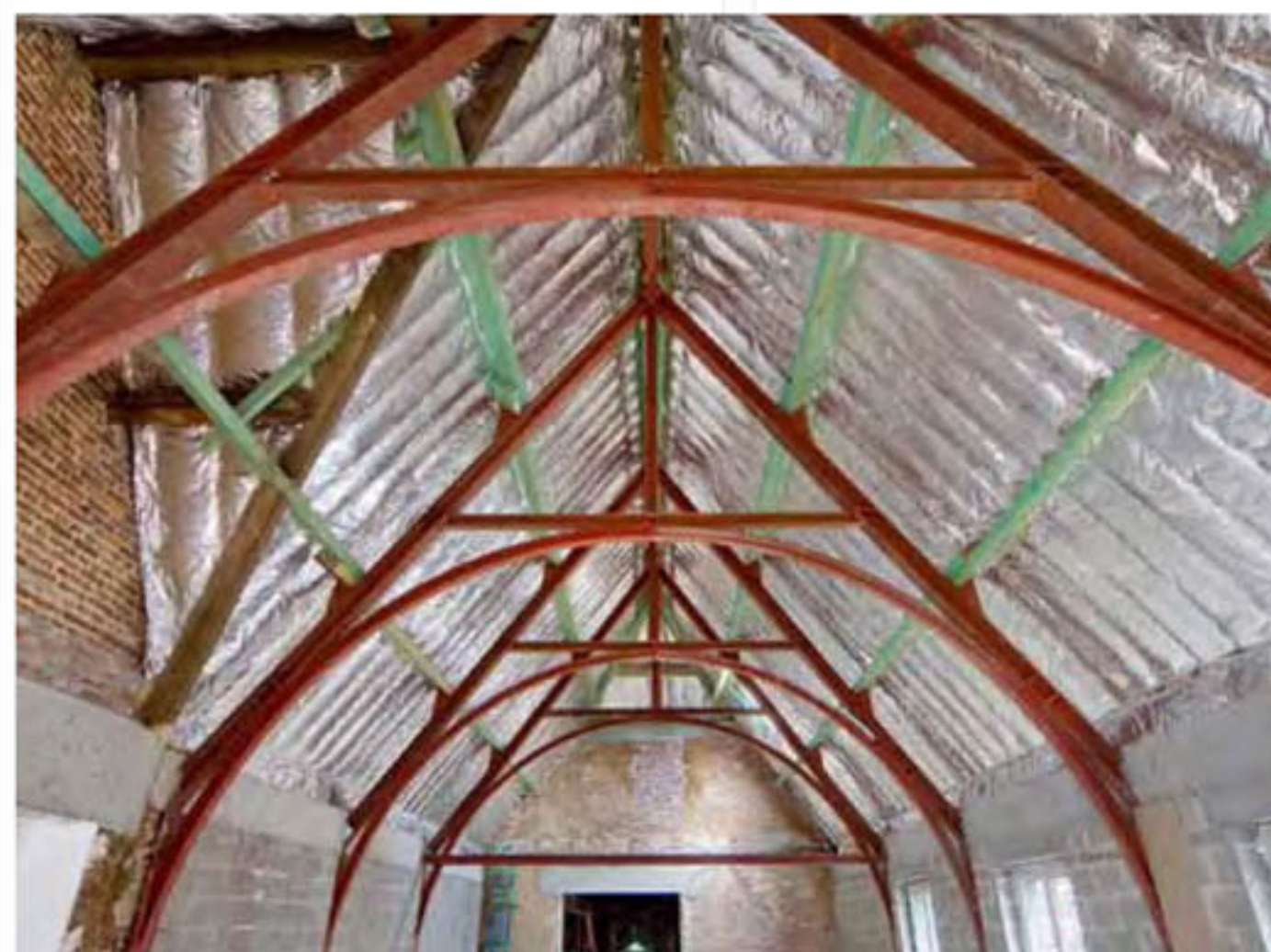
CI-DESSOUS À GAUCHE EN HAUT Dans la maison de Wilde, une charpente trop dégradée a été remplacée par une simple charpente métallique.

CI-DESSOUS À GAUCHE EN BAS Dans les combles du palais Curtius, une trémie d'escalier et un escalier métallique pourvu de marches en bois et de garde-corps en verre, ont été placés pour relier deux niveaux sous toiture, en vue d'une utilisation muséale de cet espace.

PAGE DE DROITE, EN HAUT Les combles de la résidence Curtius. Les murs de refend ont été supprimés pour décloisonner l'espace afin d'y aménager des salles d'exposition. Pour reprendre les efforts du vent sur la toiture, mais aussi sur la façade, une passerelle métallique entièrement contreventée et travaillant comme une grande poutre a été mise en place au niveau des combles.

PAGE DE DROITE, À DROITE EN HAUT Dans l'hôtel Brahy, une charpente en bois lamellé-collé remplace un mur de refend, également supprimé.

PAGE DE DROITE Dans les combles du même édifice, l'installation d'un ascenseur qui dessert tous les niveaux a nécessité le placement d'une charpente métallique et l'enlèvement d'un poteau important de l'ancienne charpente en bois, remplacé par deux esseliers métalliques.



Les entreprises Eiffage Construction Métallique (anciennement Eiffel) se sont chargées de réaliser cette charpente sur base de l'avant-projet. Vu les délais, il fallait diminuer le temps d'assemblage de ses éléments sur le site et mettre au point une méthode de construction et de mise en place de cette immense structure. L'assemblage de la charpente par soudure aurait réclamé le travail de 36 soudeurs travaillant 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 pendant 7 mois, c'est-à-dire, pratiquement une équipe très difficile à réunir d'environ 200 soudeurs se relayant.

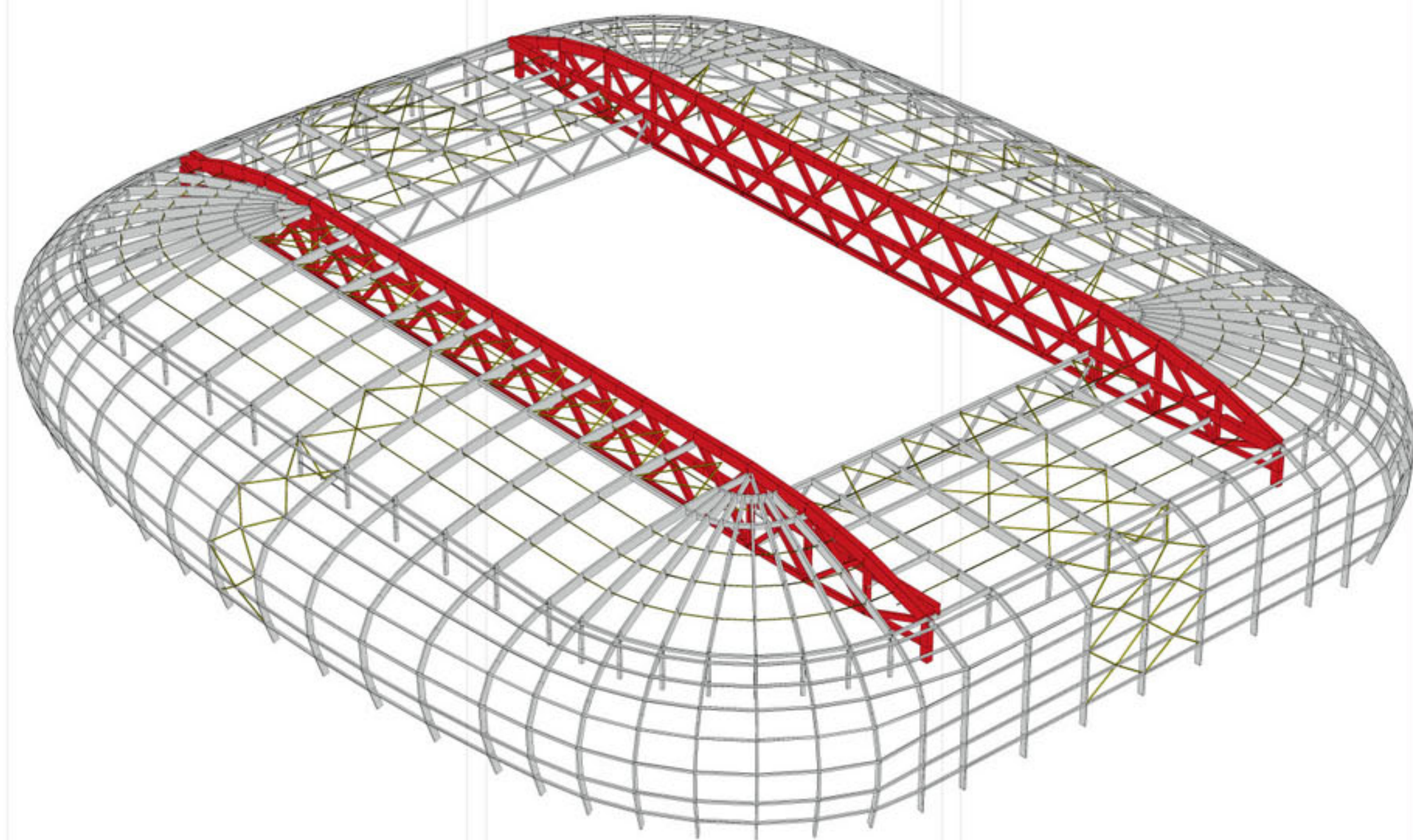
Eiffage Construction Métallique a donc chargé le bureau Greisch d'examiner l'avant-projet, d'y apporter éventuellement des améliorations structurelles, de mettre au point les études d'exécution complètes et d'aider à concevoir les opérations de montage, en particulier les phases de hissage de la charpente.

La conception des mégapoutres a été revue en fonction d'un raisonnement lié à la problématique du temps de soudure, mais aussi en fonction d'un raisonnement industriel qui intègre au maximum la préfabrication des éléments métalliques en usine et simplifie le processus

d'assemblage. Elle a aussi fait intervenir dans le domaine de la construction métallique des procédés de précontrainte utilisés essentiellement dans le domaine de la construction en béton.

Les grandes poutres présentaient initialement un treillis en N placé entre la membrure supérieure comprimée et la membrure inférieure tendue. À mi-hauteur de cette poutre se situe la poutre de roulement, la partie haute de la poutre étant destinée à être revêtue d'un bardage. En remplaçant le treillis en N par un treillis en X, on obtenait des éléments à assembler beaucoup plus courts que l'on pouvait dès lors fabriquer

par robotisation. La partie inférieure du treillis restée visible en devenait du même coup plus lisible structurellement et plus élégante. Cette amélioration a été immédiatement approuvée par l'équipe des architectes.



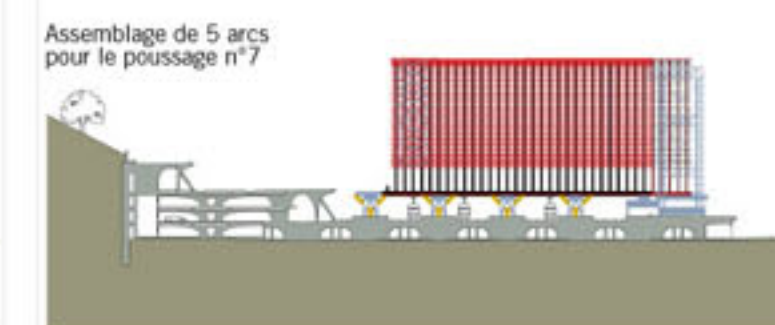
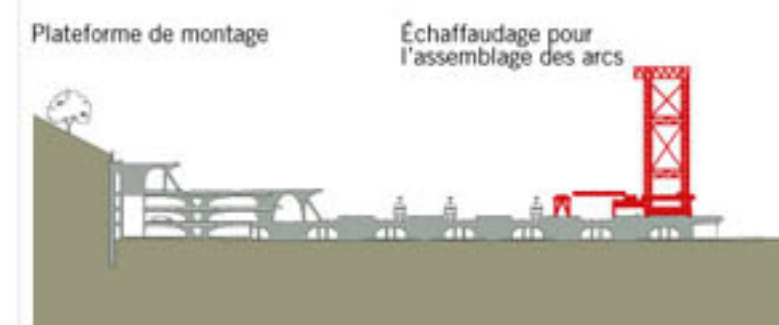
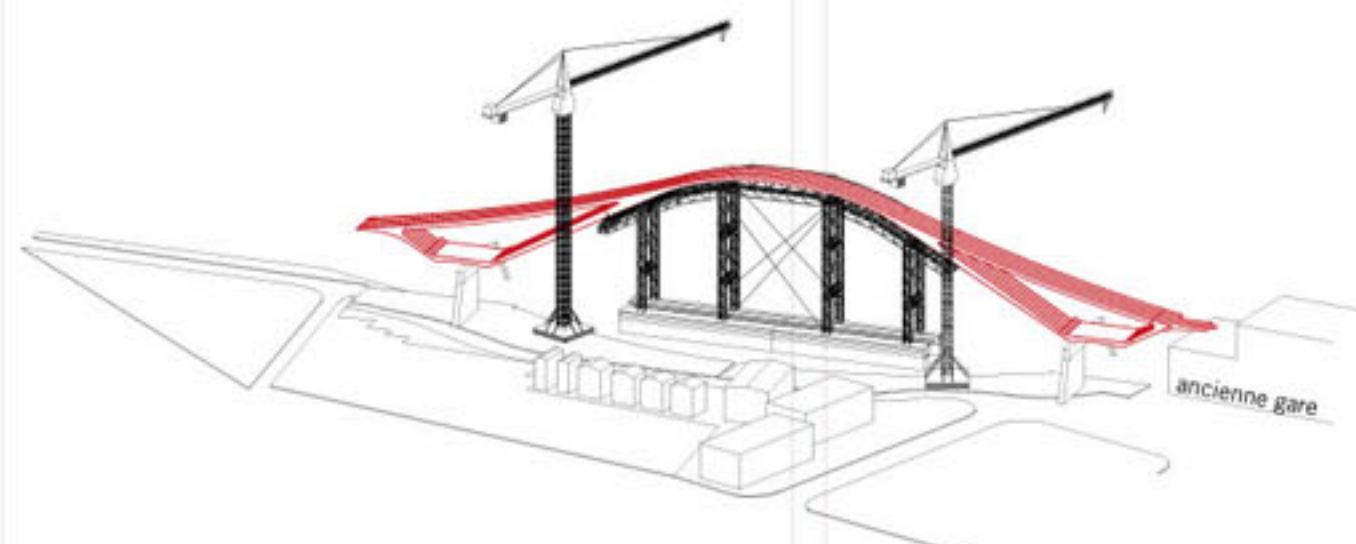
CI-DESSUS La charpente de la couverture du Grand Stade de Lille avec les mégapoutres et les fléaux.

PAGE DE DROITE Les mégapoutres portant la toiture amovible, en bas, encore au sol

AU-DESSUS Mise en place sur les poteaux.



CI-DESSOUS, DE GAUCHE À DROITE La construction du premier arc côté ville sur la plateforme de montage et schémas des phases successives de poussage des arcs, au fur et à mesure de leur construction.



Le dôme pendant la dernière phase de lançage et avant la construction des auvents qui contribuent à sa stabilité.

PHOTO CI-DESSOUS Les échafaudages dressés pour le placement des verrières.



Les deux auvents, situés de chaque côté de la couverture principale et qui servent d'abri aux zones d'accès des voyageurs, en assurent aussi la stabilité transversale. Côté ville, ils prennent appui sur deux tripodes en béton blanc, très difficiles à réaliser, qui ont demandé un soin tout particulier. Côté colline, c'est la structure de liaison entre le parking et la gare qui leur sert d'appui, avec deux grandes poutres précontraintes en encorbellement. Ces auvents sont tous deux constitués de 4 arcs ayant chacun leur fonction dans le système structurel mis en place, l'un d'eux, solidarisé en clé avec la toiture ayant pour fonction principale d'en assurer la stabilité transversale.

La construction de l'édifice a été rendue plus complexe du fait que la gare restait en fonctionnement durant toute la durée des travaux. Les étapes de construction du bâtiment ont découlé du phasage des travaux de modernisation de l'infrastructure ferroviaire et se sont réalisées en quatre phases.

PHASE A. Construction des ouvrages d'infrastructure correspondant aux 3 premiers quais, côté ville.

PHASE B. Construction de l'entrée principale de la gare et des espaces latéraux situés sous le premier quai.

PHASE C. Construction des ouvrages d'infrastructure correspondant au quatrième quai.

PHASE D. Construction des ouvrages d'infrastructure correspondant au cinquième quai.

Le passage d'une phase à l'autre n'intervenait qu'après la mise en service des infrastructures ferroviaires sur les ouvrages nouvellement construits.

La construction du parking s'est intégrée à ces travaux et s'est effectuée en deux phases en commençant par une demi-largeur de l'ouvrage correspondant à sa partie adossée à la colline, le reste du parking et sa liaison avec la gare étant réalisés après l'achèvement du cinquième quai. La réalisation de la phase C impliquait un chantier enclavé entre les nouvelles voies en service et les voies de l'ancienne gare. Les constructeurs ont dû aménager des accès de chantier temporaires en construisant des ouvrages provisoires : pertuis de chantier sous les voies en service, pistes balisées et protégées, passages à niveau de chantier, etc.





L'étude du calcul du feu naturel réalisée par le bureau Greisch a permis l'absence de protection incendie, excepté celle des colonnes de base au moyen d'une peinture intumescente. Les deux pignons en voile de béton contribuent au contreventement de la structure métallique, ainsi que des croisillons en plats métalliques situés dans les deux planchers.

L'atrium qui garantit un éclairage naturel central, est parcouru par cinq passerelles et trois escaliers qui relient parfaitement les deux parties du nouveau et de l'ancien bâtiment pour n'en faire qu'un, permettant aux équipes qui y sont réparties de communiquer aisément. Ces passerelles se singularisent par leur minceur. Elles sont constituées d'une ossature métallique d'une épaisseur limitée à 10 cm. Leurs garde-corps en verre ont une fonction structurelle, puisqu'ils contribuent à la rigidité de l'ensemble. La structure de la verrière est quant à elle constituée de portiques en bois sous-tendus. La façade arrière de l'ancien bâtiment n'a été ouverte et modifiée qu'à l'issue des travaux.

En réalisant cette extension en métal, les architectes de la cellule Canevas et les ingénieurs du bureau Greisch ont allié les préoccupations architecturales et structurelles de la même façon que l'avait fait René Greisch avec le béton préfabriqué dans le premier édifice. Aux visiteurs, les locaux eux-mêmes démontrent la polyvalence des compétences du bureau Greisch dans les domaines du béton et de l'acier.



L'extension comporte deux plateaux d'environ 300 m<sup>2</sup>, permettant en tout 72 postes de travail supplémentaires. Des passerelles et des escaliers relient le rez-de-chaussée du bureau existant aux deux niveaux de l'extension, traversant un atrium qui s'élève sur toute leur hauteur. Celui-ci est couvert par une toiture vitrée et agrémenté de plantations. Les passerelles se singularisent par leur minceur. Les garde-corps en verre contribuent à leur rigidité. Le plasticien Jean Glibert est intervenu dans le choix de la teinte de ces panneaux de verre qui sont sertis dans du métal.

