



MaP3

engineering
structural design

7 avenue Albert Bartholomé
75015 Paris, France
+1 40 434310

北京西城区 西海南沿48号 A座二层
100032 Beijing, Chine
+1 37 17510509

map3@map3.net



[1]



[2]



[3]



[4]



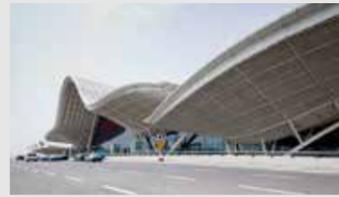
[5]



[6]



[7]



[8]



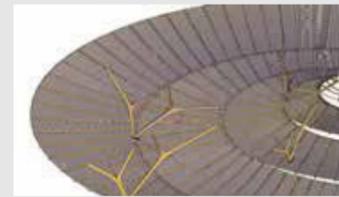
[9]



[10]



[11]



[12]



[13]



[14]



[15]



[16]



[17]



[18]

p. 4

MaP3 - études structures

p. 6

L'agence

p. 10

Gare de Shanghai Sud

p. 20

Gare de Bordeaux Saint Jean
Parking Belcier

p. 26

Gare de Casablanca
Maroc

p. 36

Gare de Qingdao
Chine

p. 44

Gare de Montpellier
France

p. 50

Gare de Wuhan
Chine

p. 58

Stade de la Ville du Mans
Chine

p. 66

Gare de Lyon, Paris
extension plateforme jaune Hall 2

p. 70

Couverture des tribunes du
Stade d'Agadir

p. 74

Gare de Noisy Champs
Grand Paris

p. 76

Gare de Chengdu Est

p. 82

Aéroport d'Orly - bâtiment
de jonction

p. 86

Péage de Casablanca

p. 94

Gare de Lodz Fabryczna
Pologne

p. 98

Gare d'Austerlitz
Marquise Cour Seine
Paris

p. 102

Restructuration de la gare
de Rennes PEM et lien
urbain (35)

MaP3 – études structures

MaP3, bureau d'études structure est créé en 2001 par un architecte et deux ingénieurs des Ponts-et-Chaussées.

Notre collaboration commence au Maroc. Notre premier projet en 1998 est un auvent de péage à Casablanca. La toiture est suspendue à un arc de 90 m de portée. L'ensemble est en tôle pliée, une première pour une structure de cette taille. Nous participons aux études de fabrication avec l'entreprise Casablancaise Intertridim.

Avec le déploiement de la téléphonie mobile au Maroc, nous effectuons de nombreuses études de pylônes de télécommunication. Ces études aboutissent à un brevet : le Mât Pendulaire à Pointage Parallèle (MaPPP). Muni d'un système mécanique de compensation angulaire, ce pylône garantit un pointage quasi parfait des antennes malgré sa souplesse.

La société MaP3 est créée en France en 2001 pour exploiter le brevet. Nous sommes lauréats du concours de l'ANVAR en 2002 (ministère de la recherche). Le système MaPPP est appliqué sur des pylônes de télécommunication en France et sur des supports de radars maritimes en Italie.

Méthode

Nous proposons une approche originale de la structure partant du dialogue avec l'architecte et s'appuyant sur de nombreux échanges de dessins en 3D. Le recours au dessin nous donne une vision d'ensemble de l'objet étudié, et permet d'orienter efficacement les calculs. Il permet aussi de communiquer au delà de la langue, avec des partenaires en Chine, en Pologne, au Vietnam et en Thaïlande.

Nous utilisons fréquemment les mathématiques, comme outil pour le calcul mécanique et le paramétrage des détails constructifs, mais aussi comme principe de conception des formes. A la base de la culture des ingénieurs, les mathématiques offrent une grande variété de formes élégantes et originales, et de techniques analytiques pour les modeler.

Nous accordons également une attention particulière aux sujets liés à la fabrication. Démarche interrogative qui garantit la maîtrise technologique des projets et enrichit le processus de création.

Une réflexion héritée du transfert technologique avec les pays du Sud

L'ouverture internationale et la circulation des idées entraînent une remise en question des savoir-faire de l'occident et de nos méthodes de construction. Par exemple, dans les pays en développement, le rapport coût matière / coût main d'oeuvre s'inverse, ce qui fait émerger des solutions différentes. Nos échanges avec la Chine nous ont également permis de développer des méthodes de communication et de calcul plus précises et ciblées.



Publications :

Revue CMI constructions métalliques
information n°2 2012 - CTICM

Revue Civil Engineer, mars 2010,
American Society of Civil Engineers

Revue Civil Engineer, décembre 2006
American Society of Civil Engineers

Detail Annual
South Korea, august 2007

Lauréats :

Trophée Eiffel architecture 2015 pour
la catégorie VOYAGER La gare SNCF
Saint-Roch à Montpellier

European Museum 2015 : le Fami-
listère de Guise nommé et primé.

Detail revue for China

AMC Le Moniteur Architecte, N°153,
Juin-Juillet 2005

Le Moniteur, N°5298, 10 juin 2005

Le Moniteur, Février 2006

Catalogue de l'exposition « Design
Day » 2006 du centre G.Pompidou

Prix Brunel 2011 pour la gare de Wu-
han en Chine.

Gare de Casa port nominée en 2016
pour le prix Aga Khan

Fondateurs de la MaP3



Emmanuel Livadiotti

Ingénieur Structure
3 rue Monge
92170 VANVES
Tél. : +33 1 40 43 43 10
Email: elivadiotti@map3.net

Vingt ans d'expérience en conception et calcul des ouvrages de grande portée et des structures légères. Collaboration étroite avec les architectes. Intervention en phase conception pour l'optimisation et le dessin de la structure. Inventeur du système MaPPP, pour le contrôle géométrique des pylônes de télécommunication. Prix ANVAR 2002 du ministère de la recherche.

Formation

1998: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ENPC – Paris, France – Spécialisation en Génie civil

1994: Classes préparatoires scientifiques au lycée Masséna – Nice, France

Expérience Professionnelle

Depuis 2001: Creation et direction de MaP3 – Bureau d'études structures, Paris, France

1998/2001: EURETUDES – Conception et ingénierie, Rabat, Maroc
Direction, Collaboration avec J.C. GROSSO – architecte

1996/1998: AREP AGENCE DES GARES –SNCF Paris, France

1998: SETEC T.P.I Paris, France

Langues

	Parlé	Lu	Ecrit
Français	Excellent	Excellent	Excellent
Anglais	Courant	Compétent	Compétent
Italien	Courant	Compétent	Compétent



Taha Aladine

Ingénieur Structure
36 sentier des Frettes
94230 Cachan
Tél. : +33 1 40 43 43 10
Email: taladine@map3.net

Expert en conception et calcul des structures béton et acier, spécialiste du comportement dynamique des ouvrages et des calculs non linéaires. Taha participe à la fondation de MaP3 après un an dans l'entreprise de construction métallique Eiffel et 3 ans de calculs sur les centrales nucléaires. Taha Aladine a enseigné pendant 8 ans La Résistance des Matériaux à l'Ecole Nationale des Ponts-et-Chaussées.

Formation

1997: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ENPC – Paris, France – Spécialisation en Génie civil

1994: Classes préparatoires scientifiques au lycée Chateaubriand – Rennes, France

Expérience Professionnelle

Depuis 2001: MAP3 – PARIS – Responsable design et calculs en conception et execution

1998/2001: SECHAUD ET METZ Ingénieur Senior

1998: YRM NICHOLAS GREEN ASSOCIATES

1997: A.R.E.P

1995/1996: EIFFEL CM – MAIZIERES LES METZ

2002/2010: Professeur Assistant a l' ENPC

Langues

	Parlé	Lu	Ecrit
Français	Excellent	Excellent	Excellent
Anglais	Courant	Compétent	Compétent
Gujrati	Courant		

L'agence



MaP3, créée à Paris en 2001, doit son nom au brevet industriel MaPPP (Mât Pendulaire à Pointage Parallèle).

En 2008, nous créons MaP3 fluides dont l'objet est l'étude des phénomènes climatiques connexes au bâtiment (vent, ensoleillement, climatisation passive et pluie).

En 2012, nous créons MaP3 China à Pékin.

Les ouvrages spéciaux et les structures expérimentales restent un axe privilégié de notre travail, mais nous intervenons également sur des projets de construction classiques, ponts, passerelles, grandes halles et pylônes.

Notre équipe compte aujourd'hui de nombreuses réalisations importantes en Europe, en Afrique et en Asie.

Nous comptons parmi nos clients la Ville de Paris, AREP, SNCF, Systra, EDF, Vinci.

MaP3 - siège social
7 avenue Albert Bartholomé,
75015 Paris
Téléphone : +33 1 40 43 43 10
fax : +33 1 40 43 43 14

北京西城区 西海南沿48号 A座二层
100032 Beijing, Chine
Téléphone : +1 37 17510509

Internet : www.map3.net
e-mail: map3@map3.net

Lucia Moschella

- Depuis 2002 MaP3 - ingénieur Structure
- 1990/1997 Université d'Ingénierie de Catane (Italie) : Ingénierie construction
- 2001/2003 AREP : Chargée d'études, conception et études techniques sur des projets internationaux.
- 2000/2001 Euretudes : Conception et études techniques, infographie et image de synthèse (Rabat)
- 1998/2000 Cabinet d'Architecture Lalhoul-Benslimane : Responsable de projet



Romain Taillard

- Depuis 2007 MaP3 - ingénieur Structure
- 2007/2008 Centre des Hautes Etudes de la Construction section CHEM métal
- 2005/2007 Université de Nantes : Génie Civil
- 2002/2005 Université du Maine (Le Mans) : département acoustique
- 2004 LRPC Strasbourg : développement d'un modèle numérique permettant la mesure en continu du bruit de roulement



Asma Elaroui

- Depuis 2015 MaP3 - ingénieur Structure
- 2013/2014 Ecole centrale de Paris, mastère Aménagement et construction durable
- 2012/2013 Centre des Hautes Etudes de la Construction section CHEM métal
- 2010/2012 École polytechnique centrale privée de Tunis, filière génie civil
- 2014 Setec Paris: Dimensionnement et comportement de structures en béton renforcé par des fibres métalliques
- 2012 Société Tunisienne d'étude et de conseils techniques, Étude d'un bâtiment comportant 11 étages, proposition de renforcement



Max Gagnaire

- Depuis 2015 MaP3 - ingénieur Structure
- 2011/2015 Ecole Centrale de Lille : Génie civil
- 2014 Bouygues construction : conducteur de travaux lot façades et vrd 85 logements sociaux à Bondy (93)
- 2014 Jean Dupuch Export (Cameroun) : Etude de prix sur lot gros œuvre pour bâtiment militaire en béton armé.
- 2013 Eiffage construction grands projets : assistant conducteur de travaux pour logistique sur le chantier du futur siège social de Carrefour à Massy (91)



Danyu Luo

- Depuis 2015 MaP3 - ingénieur Structure
- 2013/2015 Ecole Nationale des Ponts et Chaussées : Génie civil
- 2008/2012 Master en Génie Civil, Université de Tongji, Chine.
- 2015 Lafarge Centre de Recherche, Études de la fissuration plastique du ciment, France. Établissement d'un modèle mécanique pour les matériaux au jeune âge
- 2014 MaP3 - Conception et calcul de structures complexes en phase avant-projet



Gare de Shanghai Sud



La gare de Shanghai est conçue en 2001 par AREP et ECADI, à l'issue d'un concours d'architecture. Le projet retenu propose un plan circulaire, une solution alors inédite.

Nous sommes en charge de la conception et du calcul de la structure et des revêtements, de l'avant projet sommaire au chantier.

La géométrie est définie par la superposition de 2 dessins :
- 18 poutres en double Y, traçant un motif arborescent
- un dessin de joints lumineux en roue de vélo prolongeant les arborescences.

Les poutres primaires sont chaudronnées. Elles sont construites en 6 pièces, soudées sur site et montées par un pont roulant rotatif, prenant appui au centre de la plateforme et sur un rail périphérique.

A la fin du montage, les 18 supports provisoires sont retirés à l'aide de vérins, pour éviter les chocs et contrôler la mise en charge de la structure. La déformation de 140 mm à la clef était conforme aux calculs. Cela permet d'introduire une précontrainte naturelle de 17 Tonnes dans le système de sous tension de l'anneau central 60% de l'effort nécessaires pour éviter aux tirants de se détendre sous charges dissymétriques.

Diamètre :
266 m.

Plus grande portée :
150 m.

Surface couverte :
56 000 m².

Poids structure acier :
6000 T

Budget des travaux :
93 Millions d'Euros

Date de livraison :
Juin 2006

Maître d'ouvrage :
Railway bureau Engineering &
Construction, Center of
Shanghai

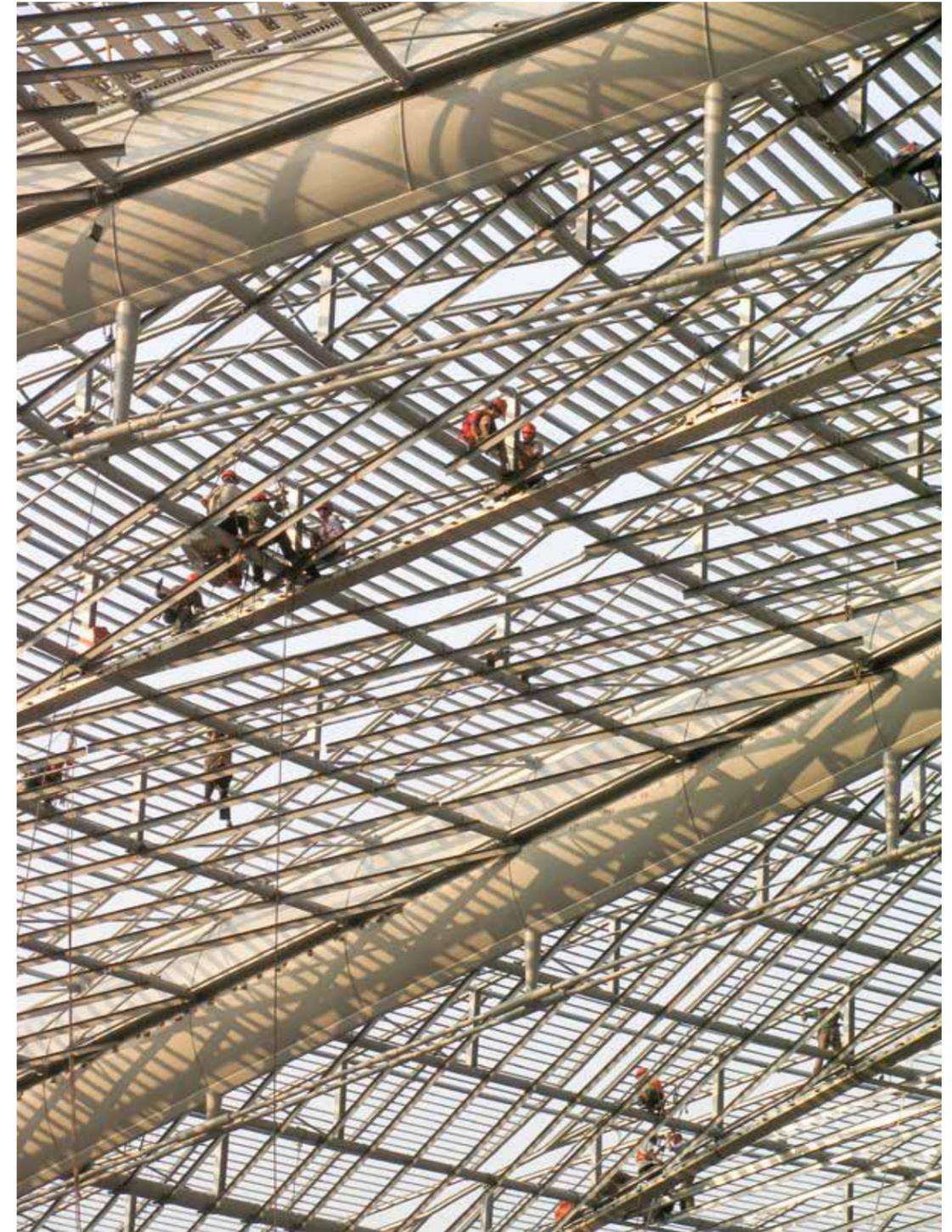
Maître d'œuvre :
AREP - SNCF (Architecte),
ECADI (B.E.T. génie civil,
Shanghai),
MaP3 (B.E.T. structure).



Les grandes poutres en tôle pliée viennent s'articuler sur des pièces moulées en fûte de 18 poteaux intérieurs et de 36 poteaux périphériques. Les poteaux périphériques sont munis de tirants inclinés pour le contreventement de la toiture. Ce système de contreventement orthoradial reprend les efforts sismiques très importants à Shanghai tout en laissant le dôme se dilater sous l'effet de la température (+/- 30 mm).



Les 18 poutres se rejoignent sur un anneau central qui reprend une compression de 2000 tonnes. Les sous-tension des poutres principales se raccordent également pour former un moyen de stabiliser l'anneau au flambement hors plan. Cet anneau sous-tendu d'une grande rigidité en torsion permet d'encastrer les extrémités des poutres vis-à-vis des charges dissymétriques.

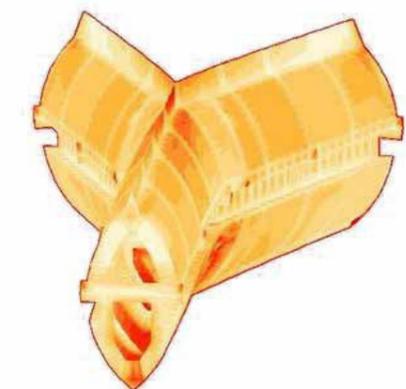


Pour mettre en valeur le dessin des poutres primaires, il faut faire disparaître les pannes. Or, les plus grandes pannes ont une portée de 26 m. Ce sont des poutres treillis courbes en plan, avec des diagonales en tension. Elles se situent au-dessus de la couverture en polycarbonate. L'intrados est un tube de 250 mm, qui a donc un élanement de 1/100. Les 200 km de brise soleil permettent de créer un profil extrudé sur mesure. La sous-face bombée, protégée contre l'encrassement par des débords en goutte d'eau permet de renvoyer la lumière réfléchie vers l'intérieur. L'angle a été déterminé pour limiter l'ensoleillement aux heures chaudes, et la favoriser les matins d'hiver. L'inclinaison des lames à 13° permet de conserver une transparence suffisante vers le ciel.



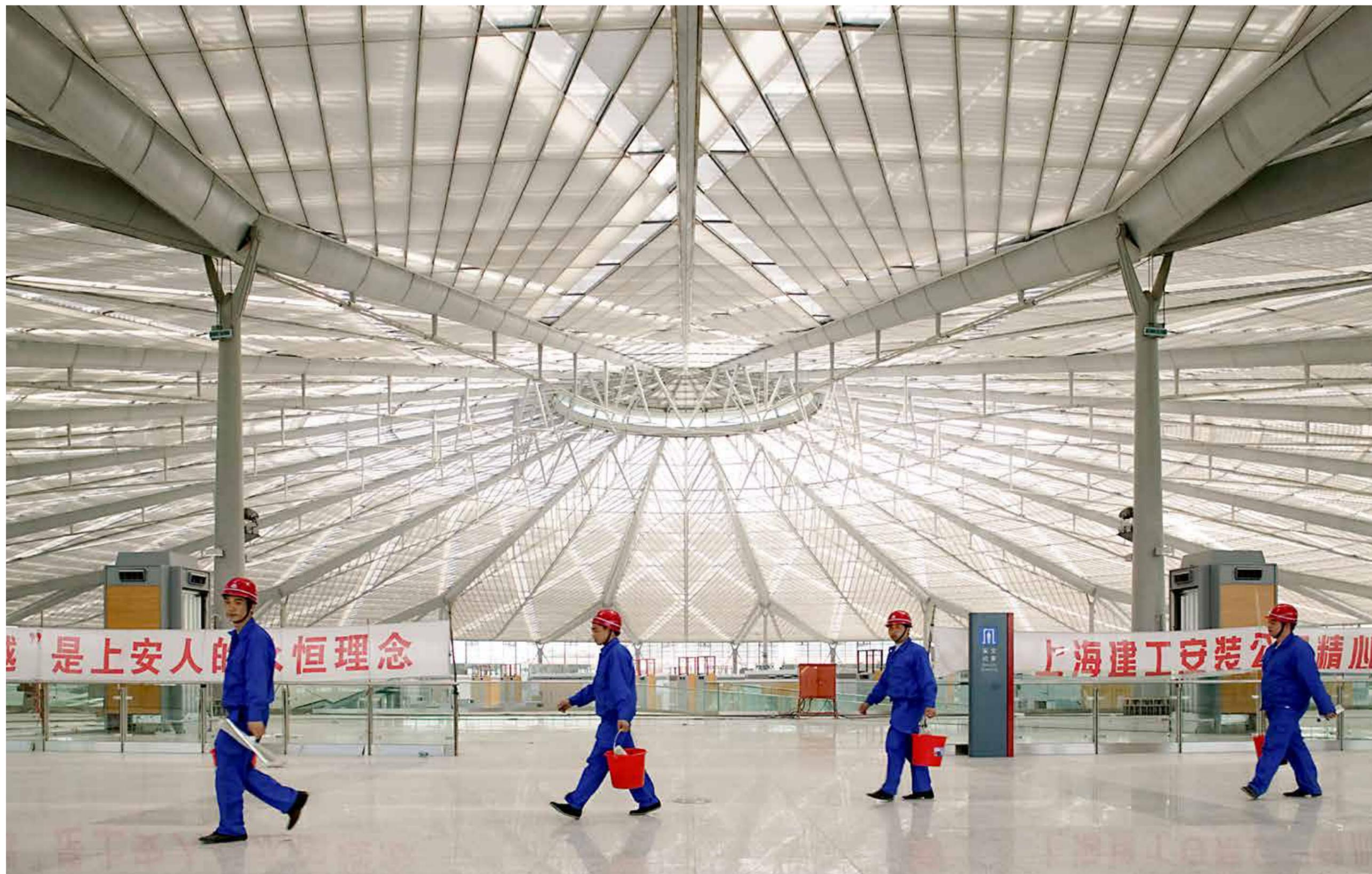
Méthode de montage de la structure, utilisant un " pont roulant " circulaire.

Une poutre pèse 160 tonnes et mesure 120 m de long.
Le montage est organisé par l'entreprise SMCC, Shanghai.



Noeud d'une poutre en fabrication dans les ateliers de JiangNan Shipyard. Les poutres sont faites en tôle de 8 à 10 mm d'épaisseur pour une hauteur atteignant 3,60 m au dessus des poteaux. Le rapport hauteur / épaisseur dépasse 200. La courbure de la tôle en section augmente considérablement sa stabilité au voilement.





Gare de Bordeaux Saint Jean – Parking Belcier



Extension de la gare de Bordeaux Saint-Jean de l'autre côté des voies ferrées (Côté Belcier). Le bâtiment regroupe 3 fonctions : Gare, parking aérien et commerces. Les planchers en dalles alvéolaires se terminent par des rives en béton préfabriqué. L'épaisseur en rive est de 11 cm. Le béton utilisé pour les rives est du béton à hautes performances en classe C50/60. Une rampe hélicoïdale tenue par un treillis portant sur 24 m traverse les planchers sur la hauteur du parking. La structure est fondée sur pieux. La souplesse du dispositif des garde-corps et garde-fou en câbles permet de limiter les efforts en nez de plancher, et contribue ainsi à la transparence de la structure.



Maître d'ouvrage :
Gares et Connexions

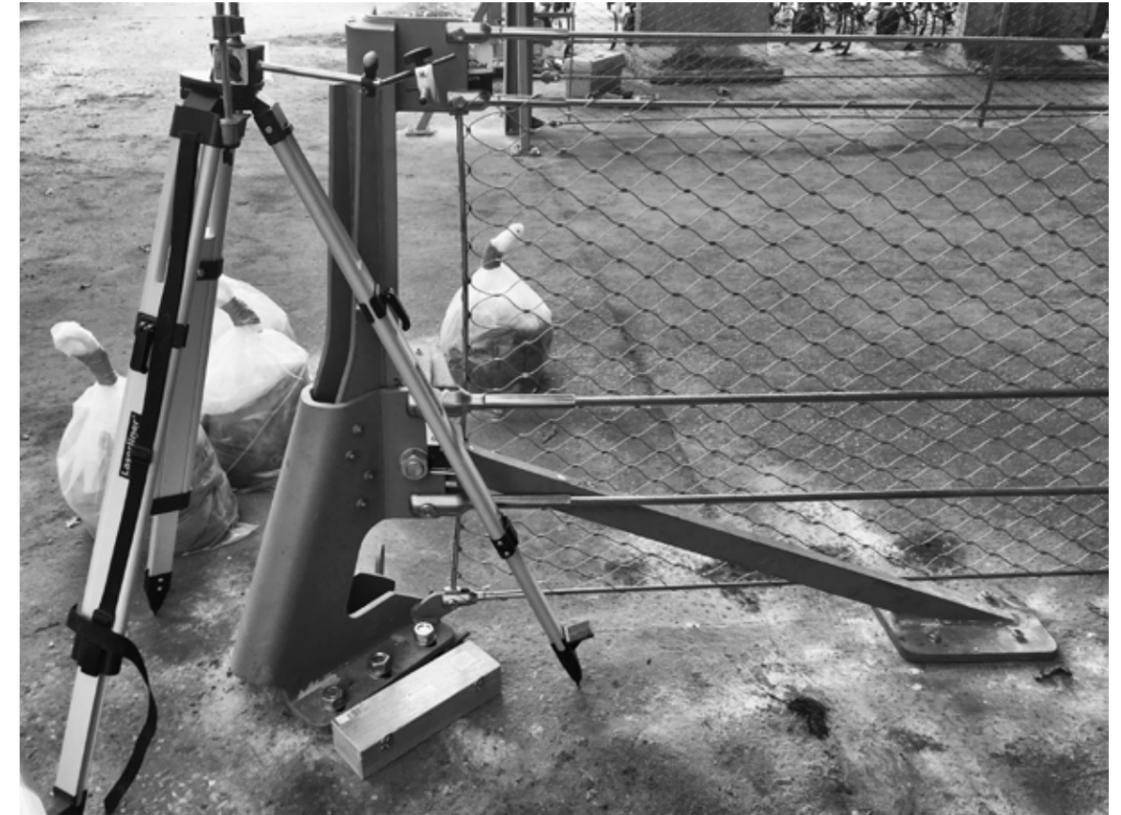
Maître d'œuvre :
Agence Duthilleul et AREP (Architectes)
MaP3 (Etudes structure)

Construction :
GTM Sud-Ouest (Groupe Vinci)
Jousselin (Préfabrication)
Arestalfer (Structure métallique).

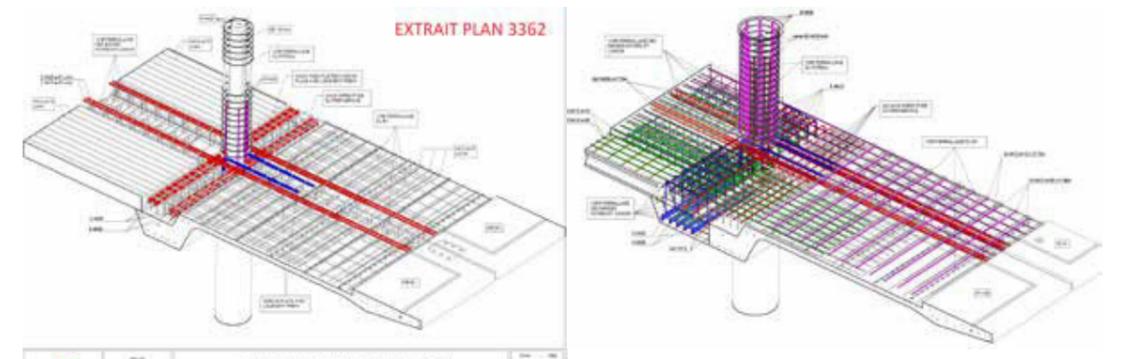
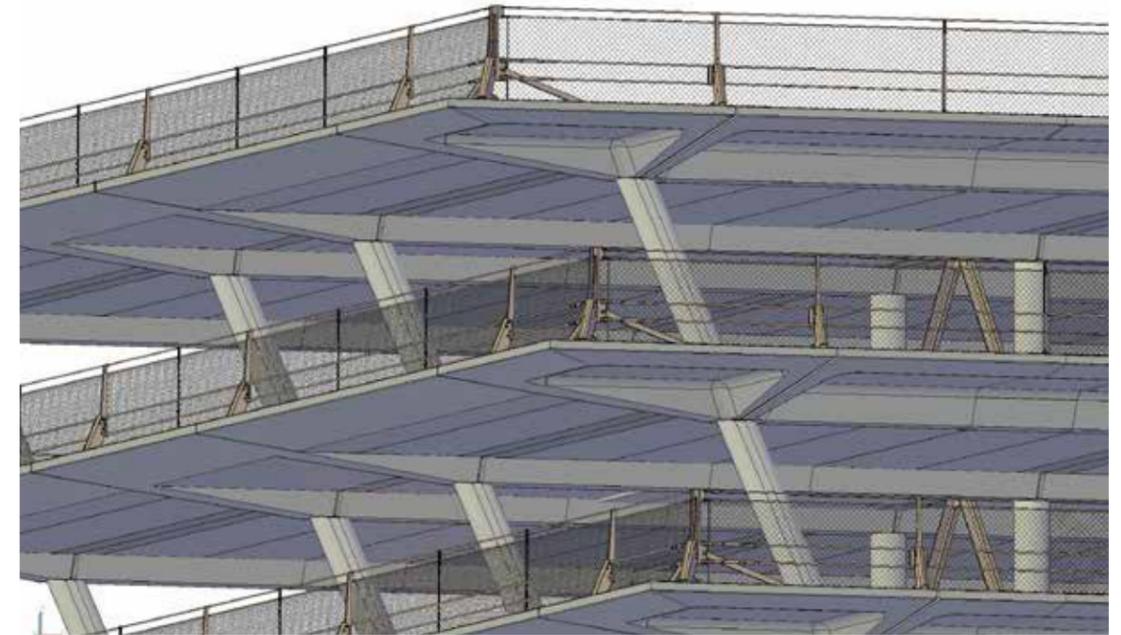
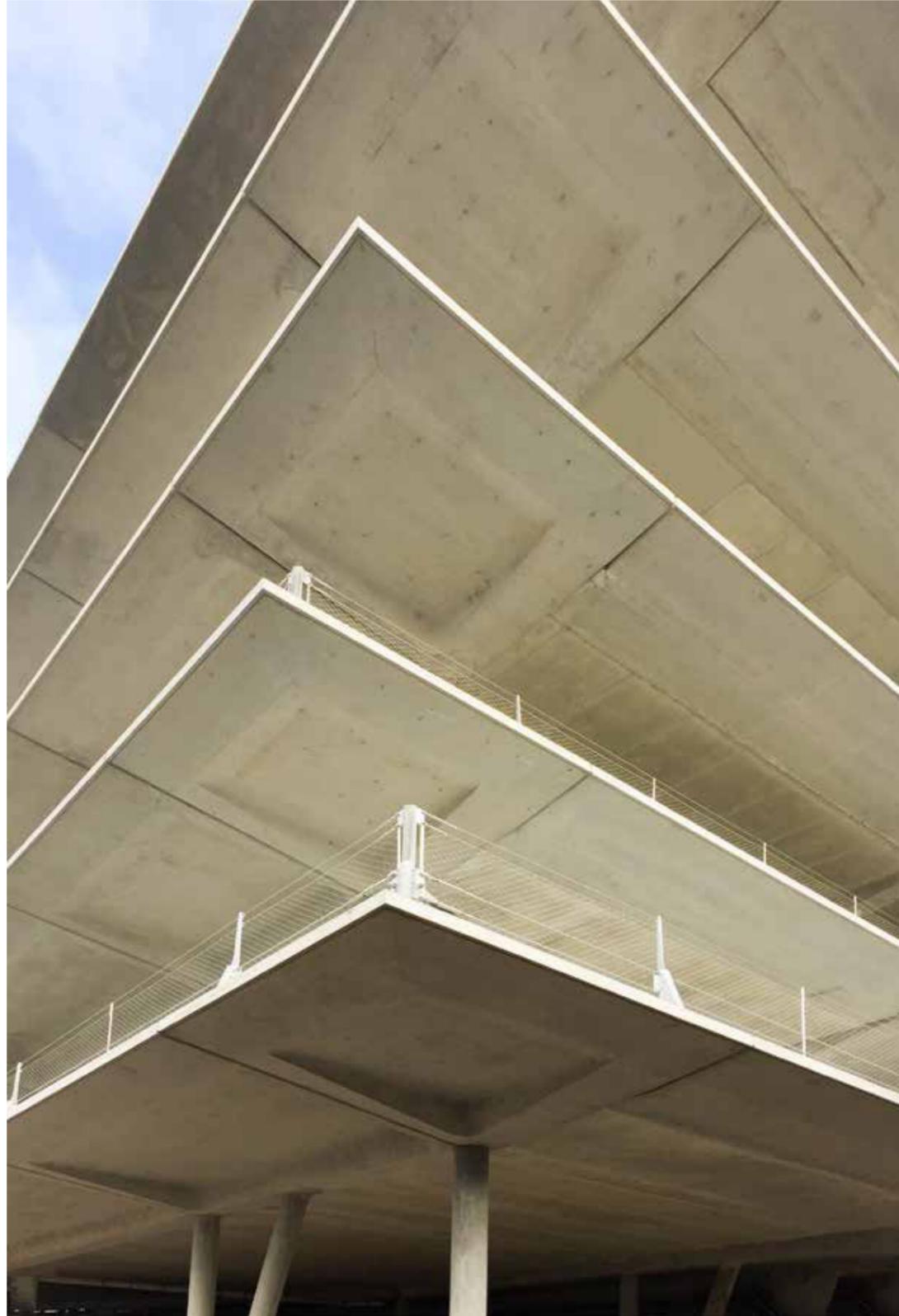
Données techniques :
Surface parking : 5000 m²,
trame courante : 7,80 m x 9,90 m.

Budget total :
35 Millions d'Euros

Achèvement :
Livré en 2017



Utilisé pour la première fois en France, le dispositif de sécurité des véhicules par câbles s'inspire des parkings américains dont celui des Marina Towers à Chicago. Les véhicules sont stoppés par 2 câbles de 16 mm de diamètre se déformant sur plus de 50 cm, et réduisant ainsi l'effort d'impact. Cette barrière est complétée par des câbles de 10 mm et une maille inox pour servir de garde-corps piétons. L'ensemble a fait l'objet de tests sous contrôle de Socotec et du CTICM pour obtenir un agrément.



La finesse des planchers est obtenue par utilisation de pièces préfabriquées, plus résistantes, plus étanches et plus rigides que des planchers béton coulé en place. Cela a nécessité une mise au point minutieuse du ferrailage à l'aide de dessins en 3D, notamment au niveau des noeuds.

Un câble de précontrainte en rive permet de serrer le béton pour refermer d'éventuelles microfissures, nuisant à l'étanchéité et à la durabilité.

Les descentes d'eau pluviales de 168 mm sont intégrées dans certains poteaux de 400 mm.



Gare de Casablanca, Maroc



La reconstruction de la gare de Casa Port est confiée aux architectes AREP (Paris) et Groupe 3 (Rabat) par l'Office National des Chemins de Fer (ONCF) en 2007. Le projet prévoit une grande toiture rectangulaire appuyée sur des poteaux à corolles, et un moucharabieh protégeant la façade principale exposée Nord-Ouest.

Nous sommes intervenus de l'APS (avant projet sommaire) à l'exécution pour la conception du bâtiment principal (à l'exclusion des abris de quais). Nous avons eu en charge la structure de toiture, les façades, la couverture, les passerelles et les escaliers fixes à l'intérieur du hall.

La toiture de la gare est constituée de 40 modules identiques de 14,40 x 10,80 m. Chaque module est muni d'un lanterneau en son centre. Les modules sont portés par des poteaux métalliques coniques se terminant par des corolles à 8 branches en tôle pliée. La base des poteaux est en béton sur les 2 premiers mètres.

Les façades sont entièrement vitrées. Le moucharabieh en béton fibré (Ductal) est fixé sur une ossature dédiée indépendante lui permettant de se prolonger au-delà de la façade vitrée.

Le sol dans la gare est percé par une grande trémie donnant accès au centre commercial en sous-sol, accessible depuis un parking souterrain de 3 niveaux. Cela permet d'offrir aux commerces une desserte suffisante, tout en préservant le fonctionnement de la gare, en dégageant au maximum l'accès aux quais.

Le contreventement de la toiture est assuré par 4 palées de stabilité disposées entre poteaux.

Maîtrise d'ouvrage :
Office National des Chemins de Fer (ONCF) - Maroc

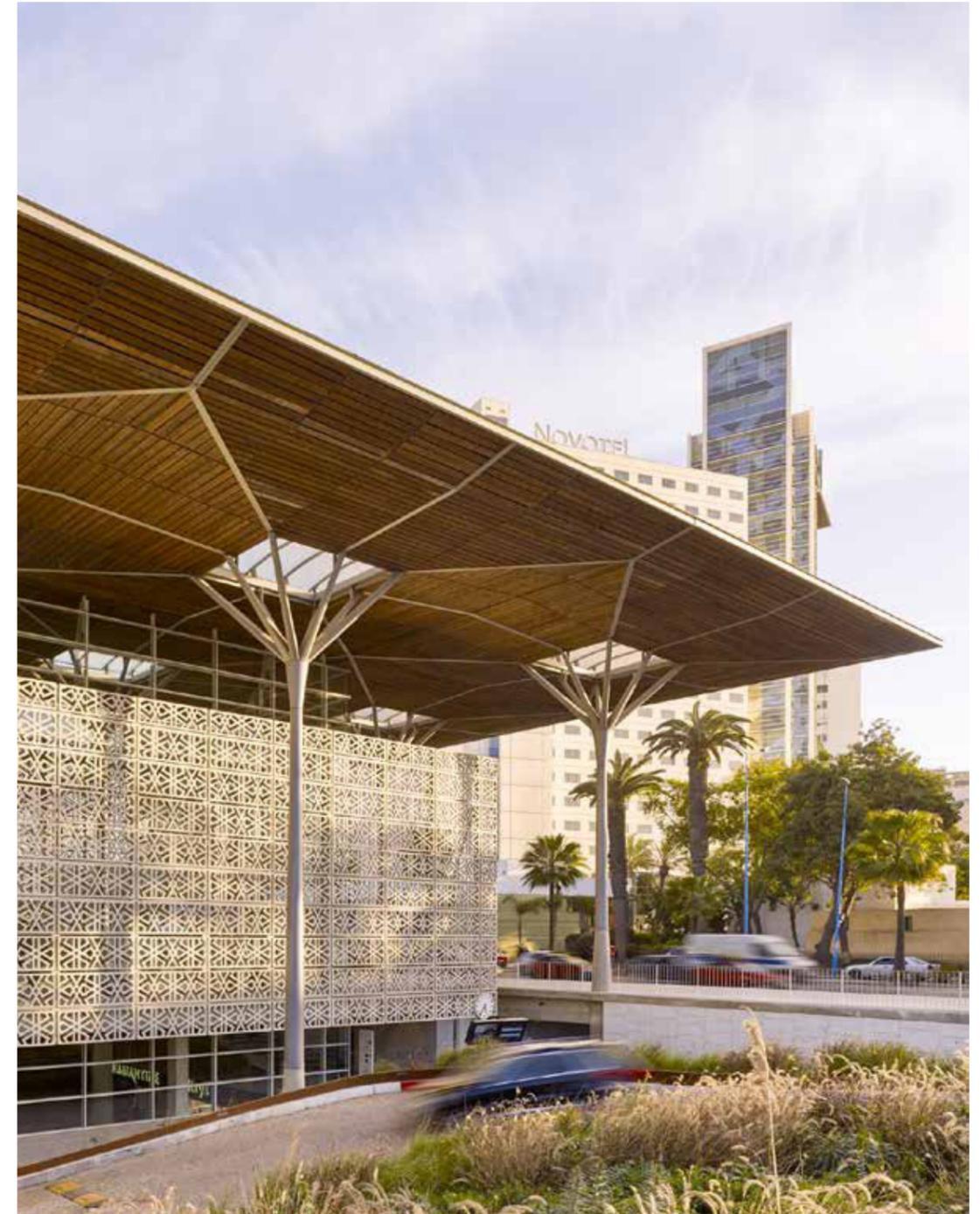
Maîtres d'œuvre :
AREP - Groupe3 (Architectes)
- UTECA (Génie civil) - MaP3
(Structure métallique)

Construction :
TGCC (Gros œuvre) Jet Alu -
Menasteel (Structure métallique
- revêtements)

Données techniques :
Surface : 6 200 m², poids
structure métallique
toiture : 620 Tonnes

Budget :
4 Millions d'Euros

Achèvement : 2014



La toiture est en panneaux CTBH portés par une charpente en IPE 300. Le plafond est en planches de peuplier préassemblées fixées au-dessus des semelles des poutres principales.

Le schéma statique d'une apparente simplicité est en réalité assez complexe. Les poutres dont les semelles apparaissent en plafond, s'arrêtent au bord des lanterneaux, et s'articulent aux extrémités des branches des corolles. En zone courante, les modules sont encastrés entre eux, ce qui permet à ces poutres de franchir simplement la portée entre 2 corolles. Elles travaillent en poutres isostatiques.

Ce principe ne fonctionne plus sur les bords de la toiture, où il faut reprendre un porte-à-faux sur une pièce articulée. Une ossature primaire spécifique est ajoutée sur les modules de rive pour ce faire.

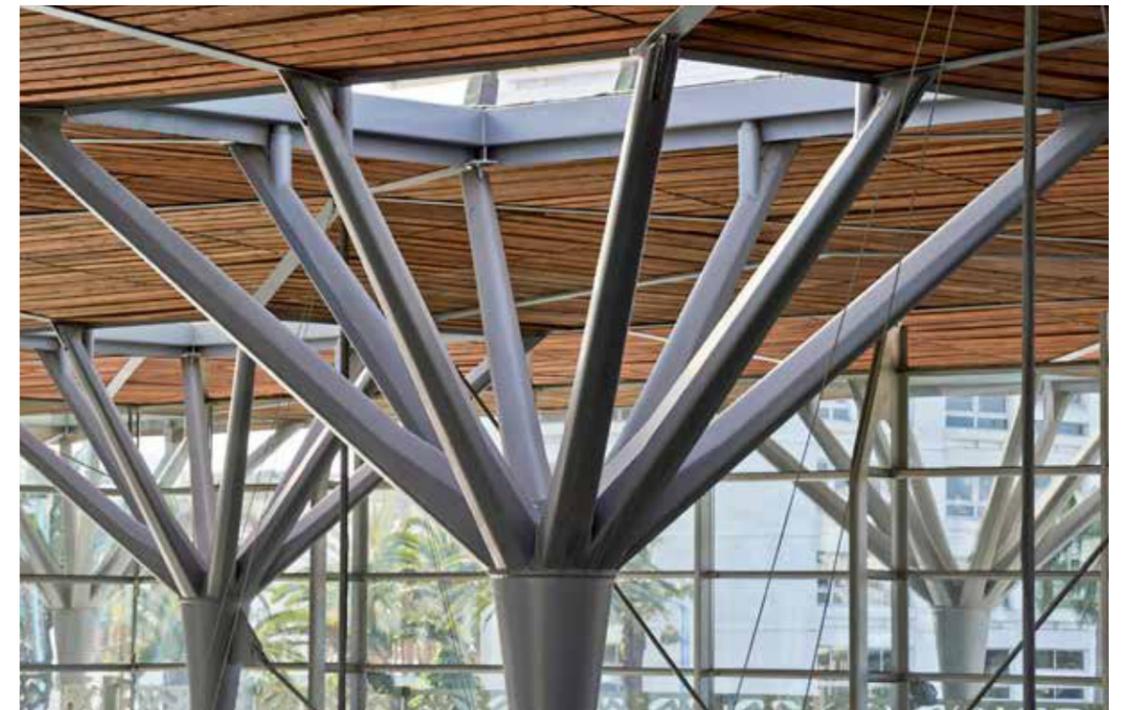


Les 40 corolles sont réalisées en tôle pliée de 12 mm d'épaisseur. Chaque branche est formée de 3 tôles soudées sur un cône en acier moulé.

Contreventement:

Le contreventement est assuré par des tirants de 30 mm de diamètre tendus entre poteaux, formant des palées de stabilité. Chaque palée comprend 4 tirants, pour ne pas transmettre des moments de flexion aux corolles. Les tirants sont précontraints pour augmenter la rigidité latérale de la structure.

Or, la mise en tension d'un tirant entraîne un mouvement de la toiture et modifie donc la tension dans les autres palées. Une trop forte déformation peut induire des moments d'encastrement très importants en pied de poteaux, dépassant la valeur de calcul en phase finale. La procédure de mise en tension a été élaborée à l'aide d'une matrice de rigidité, pour tenir compte des étapes.



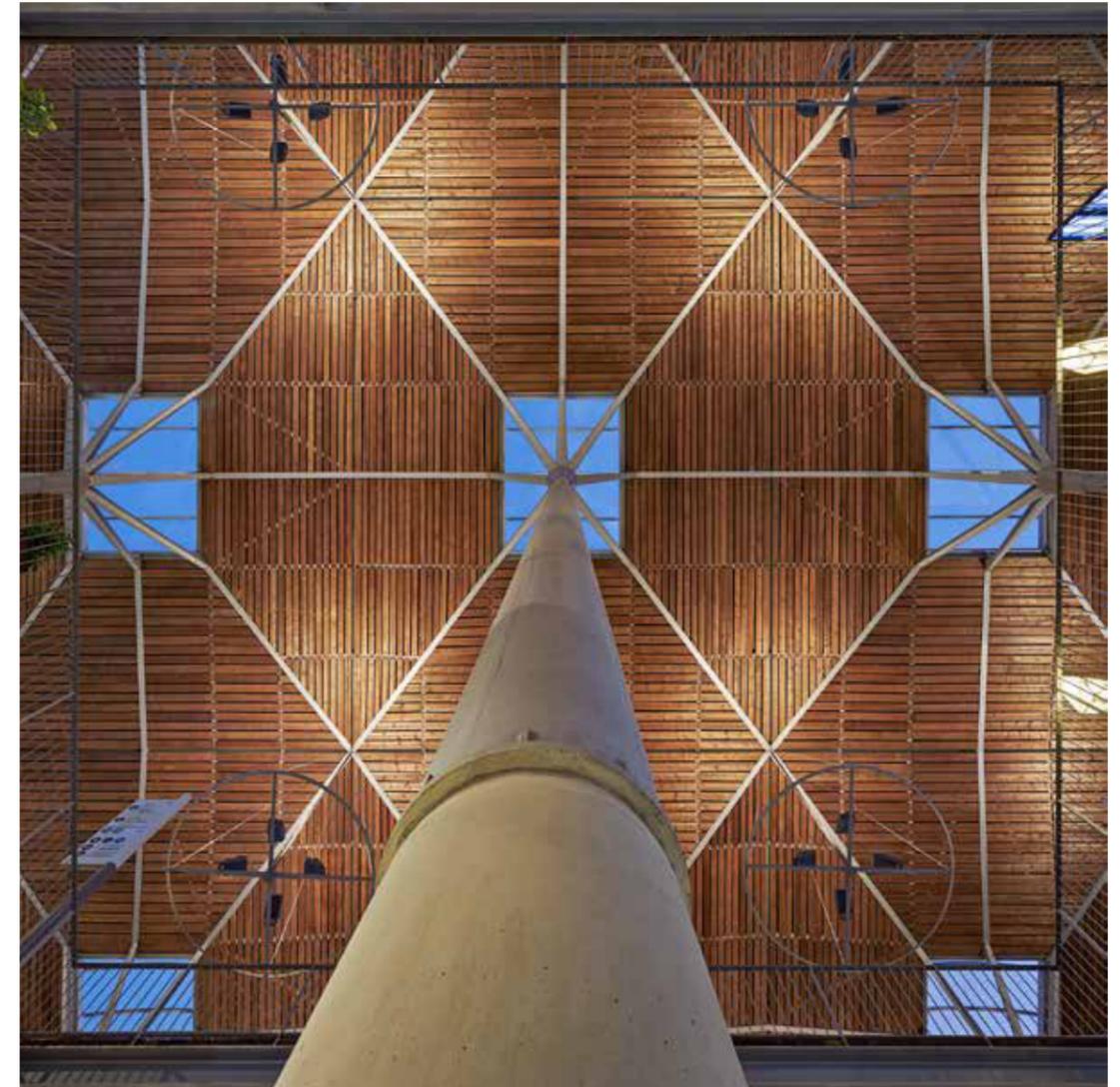
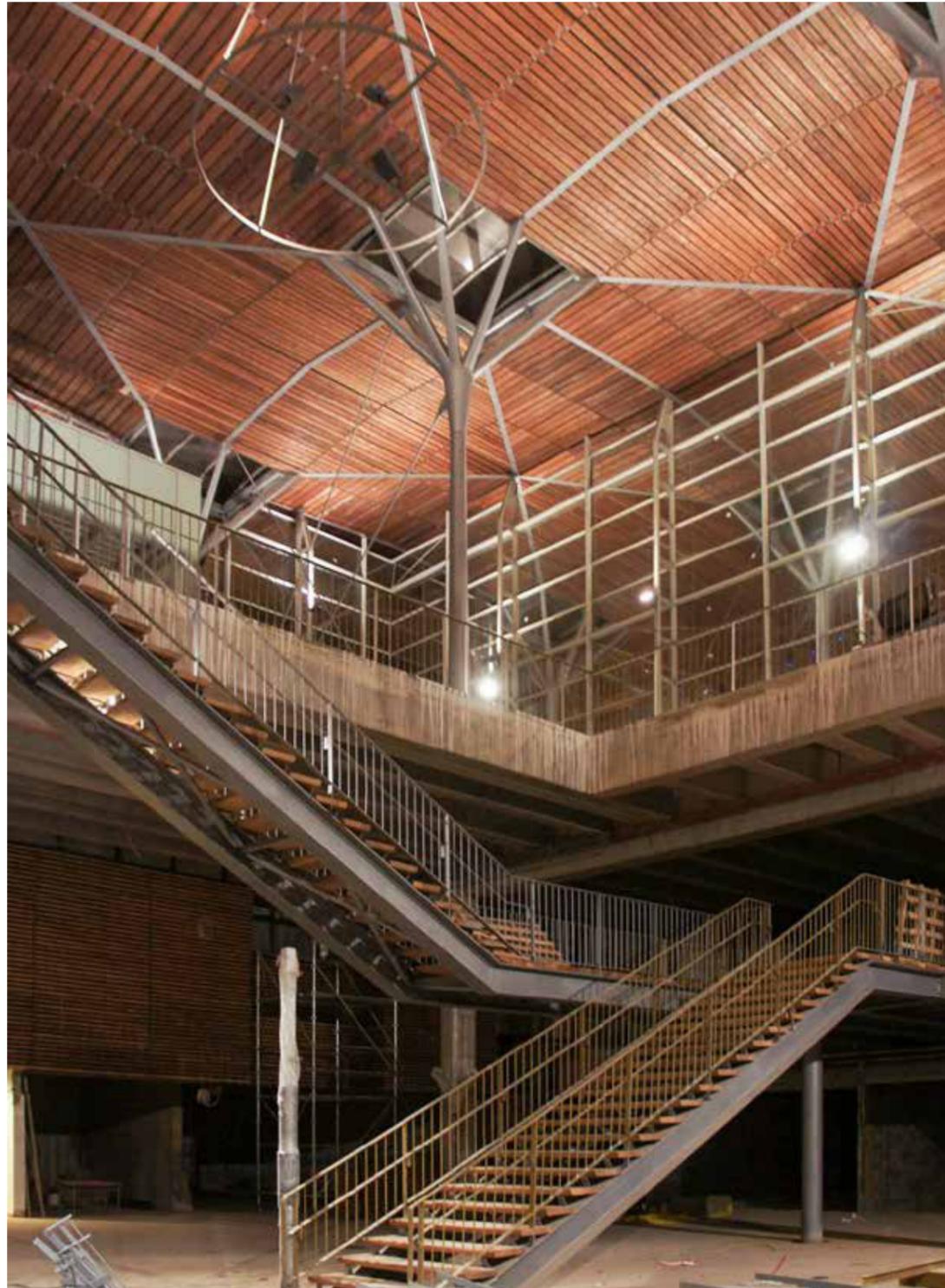
Descente d'eaux pluviales:
Les eaux pluviales sont récoltées au niveau des lanterneaux, et acheminées vers les poteaux par des tubes inox soudés à l'intérieur des 4 branches les moins sollicitées. L'eau se déverse dans un entonnoir et descend par un tube inox soudé en atelier à l'intérieur du poteau tronconique. Une cavité remplie de mousse polyuréthane sécurise les fuites éventuelles par l'entonnoir (défauts des soudures).



Entonnoirs inox pour récupérer les eaux pluviales à l'intérieur des corolles en tête de poteau.



Des doubles platines permettent de boulonner les têtes des tiges d'ancrage sortant des fûts béton. Le poteau tronconique est ensuite soudé sur ces doubles platines, grâce à des ailettes affleurant de la coque. Les têtes des tiges d'ancrage sont ensuite dans un mortier pour être protégées contre d'éventuelles fuites à l'intérieur du poteau. Des trous sont laissés en pied de poteau pour alerter en cas de fuite d'eau.



Les poteaux métalliques sont encastrés en tête d'un fût en béton à haute performance (B50). Ce fût béton est construit par l'entreprise de charpente autour des armatures en attente fournies par l'entreprise qui a construit le parking. Ce principe a permis de corriger les problèmes d'implantation, certaines armatures en attente avaient un écart de 10 cm par rapport à la position théorique.

Les fûts les plus complexes sont ceux qui reçoivent les palées de contreventement. Un insert métallique de forte épaisseur est noyé dans le fût, en laissant une réservation pour le tube de descentes d'eaux pluviales.

La rive a fait l'objet de réglages au fur et à mesure des travaux, afin d'obtenir une parfaite horizontalité.

La gare a été inaugurée par Mohammed VI le 25 septembre 2014 et a été nommée pour le prix Aga Khan 2016. Depuis, une liaison directe vers l'aéroport a été ajoutée.



Gare de Qingdao, Chine



Conçue par AREP et MaP3 lors d'un concours en 2007, la gare de Qingdao Nord est construite sur un terrain artificiel gagné sur la mer.

La forme de la structure est obtenue par une succession de portiques pivotant légèrement l'un par rapport à l'autre, pour évoquer l'envol d'un oiseau.

Chaque portique comprend une poutre de toiture encastree sur une arête centrale et appuyée sur un pied incliné par des butons sous-tendus. Les 2 pieds inclinés face à face forme un „arc”. L'arête centrale est un caisson triangulaire ajouré de 5 m de hauteur, accueillant un cheminement technique.

Ce procédé facilite la fabrication par une standardisation maximale des pièces, mise à profit pour pousser la définition des détails constructifs.

La surface de couverture alterne bandes aluminium et polycarbonate. La sous-face est habillée par des lames aluminium de 20 cm.

Les 10 portiques sont parallèles aux voies ferrées. La plus grande portée est de 140 m en façade Est. Les pieds, les bracons et les poutres sont entretoisés par un système de câbles de contreventement pour former des triangles rigides. Pour corriger l'effet du plan en diabolos, les portiques sont de plus en plus hauts vers le centre, pour réunifier le volume du hall

Maîtrise d'ouvrage :
Ministère chinois des transports
- Bureau des chemins de fer.

Maîtres d'œuvre :
AREP (Paris) - Tie Er Yuan
(Chengdu) - MaP3 (structure)
- BIAD (Pékin) pour la phase
d'exécution.

Construction :
CSCEC (Entreprise Générale)

Données techniques :
Surface de la toiture : 66 000
m², poids structure métallique :
13 000 Tonnes, hauteur : 45 m,
portée maximale : 145 m,

Budget :
300 Millions d'Euros

Achèvement : 2014



Photo de la façade Est pendant les travaux, avec les pieds inclinés reprenant les poutres de toiture encastrees à l'arête centrale.

Ouvriers travaillant sur l'arête centrale.



En section longitudinale, (figure 3), les bracons forment une suite de « V », supportant la toiture. Dans la partie centrale de la gare, où le rythme des arcs n'est que de 22 m, les extrémités des bracons se rejoignent, pour former une structure très rigide en double « W », qui agit comme un noyau de contreventement longitudinal. Ce noyau qui se trouve au centre de la structure laisse celle-ci se dilater sous l'effet de la température.

Les arcs et les poutres transversales sont connectés longitudinalement au faîtage à une poutre caisson triangulaire de 5 m x 3,80 m, perpendiculaire aux voies.

Les 3 faces de cette poutre sont ajourées pour réduire son poids. Les zones où l'effort tranchant est le plus important sont renforcées par des diagonales (près des arcs).

L'utilisation de pièces identiques permet une standardisation de la production, et donc le développement de détails complexes (technologie de chaudronnerie pour les arcs et les poutres, sous-tension anti flambement pour les bracons, nœuds bracons-câbles-arcs).

Les bracons sont stabilisés vis-à-vis du flambement par un système auto-équilibré de 3 câbles paraboliques. Ce système permet de reprendre des efforts de compression très importants avec une structure légère et élancée. Son utilisation juste avant sur le Stade de la MMArena en France, a permis d'en expliquer le principe aux ingénieurs chinois.

Les bracons sont connectés au toit par des chapes articulées.

Les arcs principaux, les grands bracons en façade et les poteaux en V portant la structure des salles d'attente sont ancrés sur un même massif de fondation.



Vues intérieures pendant les travaux, montrant la succession des arcs et l'effet cinématique recherché.



En Chine, les structures dont la portée dépasse 120 m, ou dont les dimensions dépassent 300 m entre joints de dilatation font l'objet d'un contrôle spécifique par une commission d'experts. National Commission of Structure Seismic Design Beyond Code Limits. (全国建筑结构超限抗震审查委员会)

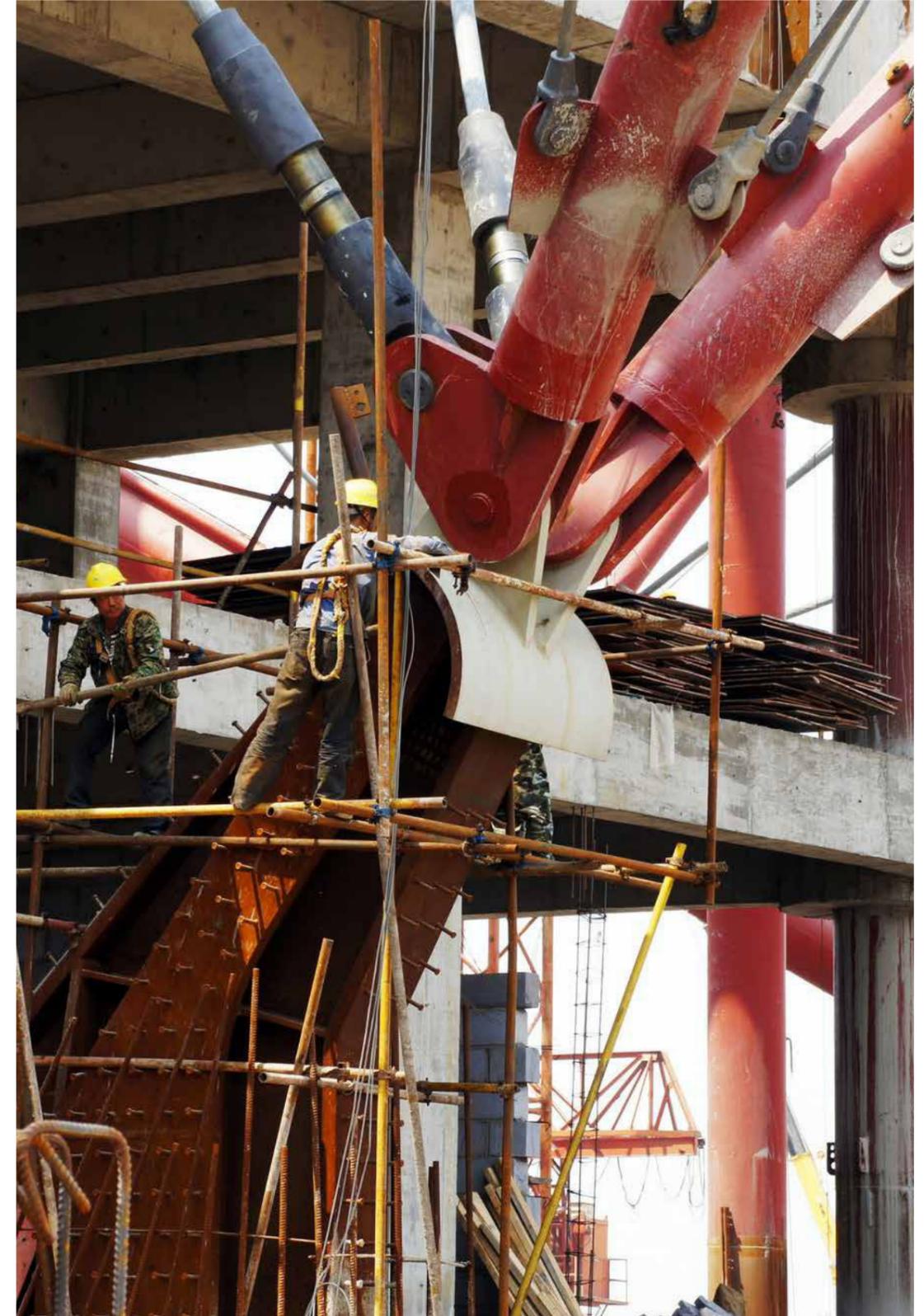
Cette commission a exigé des calculs extrêmement poussés pour le vent, et la robustesse (calcul en grands déplacements et analyse post-élastique suite à la rupture de certains éléments). La pression de calcul du vent atteint une valeur de calcul de 700 kg/m² sur les porte-à-faux de la toiture !

La technologie de chaudronnerie permet de construire des formes de sections originales. Les formes coniques sont obtenues par une succession très serrée de plis. Cette technique avait été mise en œuvre avec succès pour la gare de Shanghai Sud, construite en 2006. La courbure de la paroi lui donne une grande résistance en compression et au voilement local. L'épaisseur des arcs en partie courante varie de 15 à 20 mm. La tôle de la paroi est soudée tous les 5,50 m sur des raidisseurs transversaux.

L'épaisseur des arcs en façade atteint 50 mm dans les zones les plus sollicitées. L'ensemble de la structure a été fabriquée à Nanjing, dans les usines de l'entreprise CSCEC.

Les poutres transversales sont constituées d'une membrure supérieure en tube rectangulaire de 400 x 200 mm et d'une membrure inférieure en forme d'ellipse.

La structure a nécessité l'utilisation de 10,8 km de câble pour l'anti flambement des bracons et 5,5 km pour le contreventement général. Le diamètre des câbles va de 50 à 120 mm.



Les plus grands bracons s'appuient sur des inserts métalliques noyés dans les piles en béton, conçues pour résister au choc des trains.



Gare de Montpellier, France



Aménagement de la gare existante de Montpellier Saint-Roch. Création d'une Nef de 204 m de long couverte en ETFE sur la dalle existante et de trémies dans la dalle.

Notre équipe a participé à la conception et a effectué les calculs et les dessins de la structure (verrières, commerces, circulations, ouvrages béton et passerelle piétonne).



Maître d'ouvrage :
Gares et Connexions

Maîtres d'œuvre :
AREP (Architecte) - MaP3
(structure - enveloppe) - IGOA
(Renfort dalle existante)

Construction :
SOGEA - Chantiers Modernes
Sud (Entreprise Générale) -
Gagne (Charpente Métallique et
Verre) - Vector Foiltec (ETFE)

Données techniques :
Surface : 2800 m², poids structure
métallique toiture : 200
Tonnes, Passerelle piétonne le
long de voies ferrées : 80 m de
long par 3 m de large

Budget :
30 Millions d'Euros

Achèvement : 2014



Fabrication d'une poutre à l'atelier. Extrados en tube rectangulaire de 100 x 200 mm, montants de section cruciforme, intrados en 2 barres de 45 mm pliées et soudées, et diagonales en barres de 15 mm.

Assemblage des portiques de la nef



Détail du prototype de la structure avec les coussins ETFE en place.

Les diagonales de contreventement se plient sur une „selle” en pied du buton de section cruciforme. Les barres de l'intrados sont soudées sur une tôle pliée de 40 mm d'épaisseur en pied d'arc.

Système „Vario” pour l'ETFE, permettant de faire varier la transparence des coussins selon les saisons.

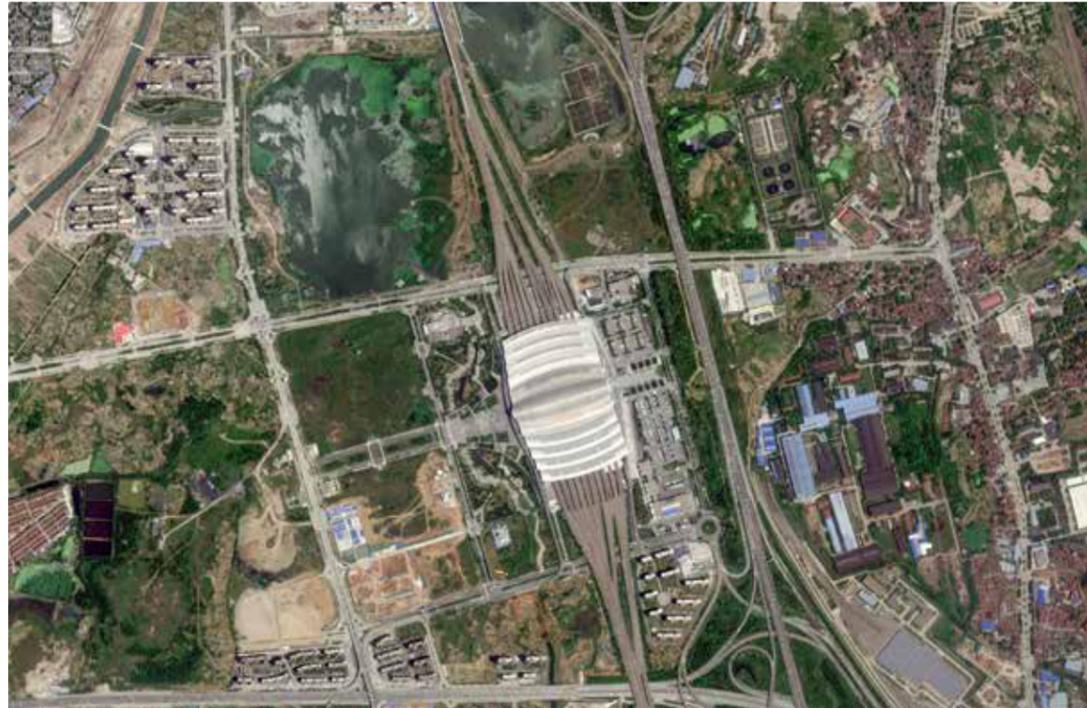


Vue de la Nef complète avec les canisses suspendues. Ces canisses faites de cylindres de mousse filtrent une deuxième fois la lumière, et absorbent les sons qui rebondissent sur les membranes de l'ETFE.

Structure en cours de montage, par l'entreprise Gagne. La gare a obtenu le trophée Eiffel d'architecture acier 2015, pour la catégorie "voyager".



Gare de Wuhan



La gare de Wuhan est un des noeuds principaux du réseau de chemin de fer en Chine. Conçue conjointement avec AREP et l'Institut 4 à l'issue d'un concours en 2 phases, elle comporte une toiture de 140 000 m² couvrant d'un seul tenant un grand hall d'entrée, les salles d'attente chauffées et les quais.

Les trains circulent sur des ponts franchissant une ligne de métro souterraine, et un parking.

La structure du toit est composée d'une arche centrale de 116 m et de rangées d'arcs secondaires, supportant une résille déformée constituant « les ailes » par des branches. Les formes sont inspirées de la morphologie des oiseaux. La gare reprend le thème de la grue, l'emblème de la ville de Wuhan.

Le complexe de couverture est formé de bandes alternées aluminium / polycarbonate. La sous-face est habillée de tubes perforés en aluminium servant d'absorbants acoustiques. Les ponts comprennent 10 arches de 48 m de portée et 100 travées isostatiques aux formes organiques, comme souhaité par l'architecte.

Maîtrise d'ouvrage :
Ministère des chemins de fer -
Chine

Maîtres d'œuvre :
AREP (Paris) + Institut 4 (Chine)

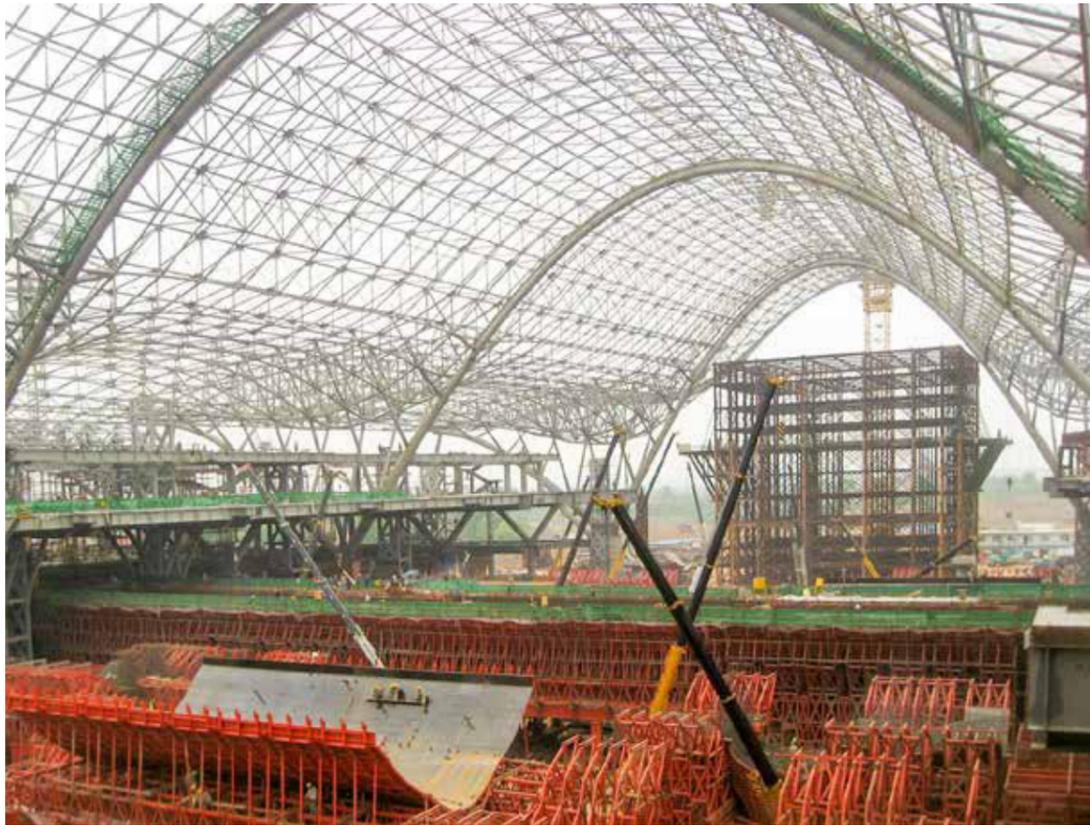
Fiche Technique :
Surface toiture : 140 000 m²
Poids Acier : 10 000 T (toiture)

Budget de travaux :
400 Millions Euros

Bet Structure et génie civil :
MaP3 (Paris)
Ponts en collaboration avec
IGOA (Paris)



La gare se trouve à proximité des lacs de la ville.
Zone de dépose minute devant la façade Ouest de la gare.

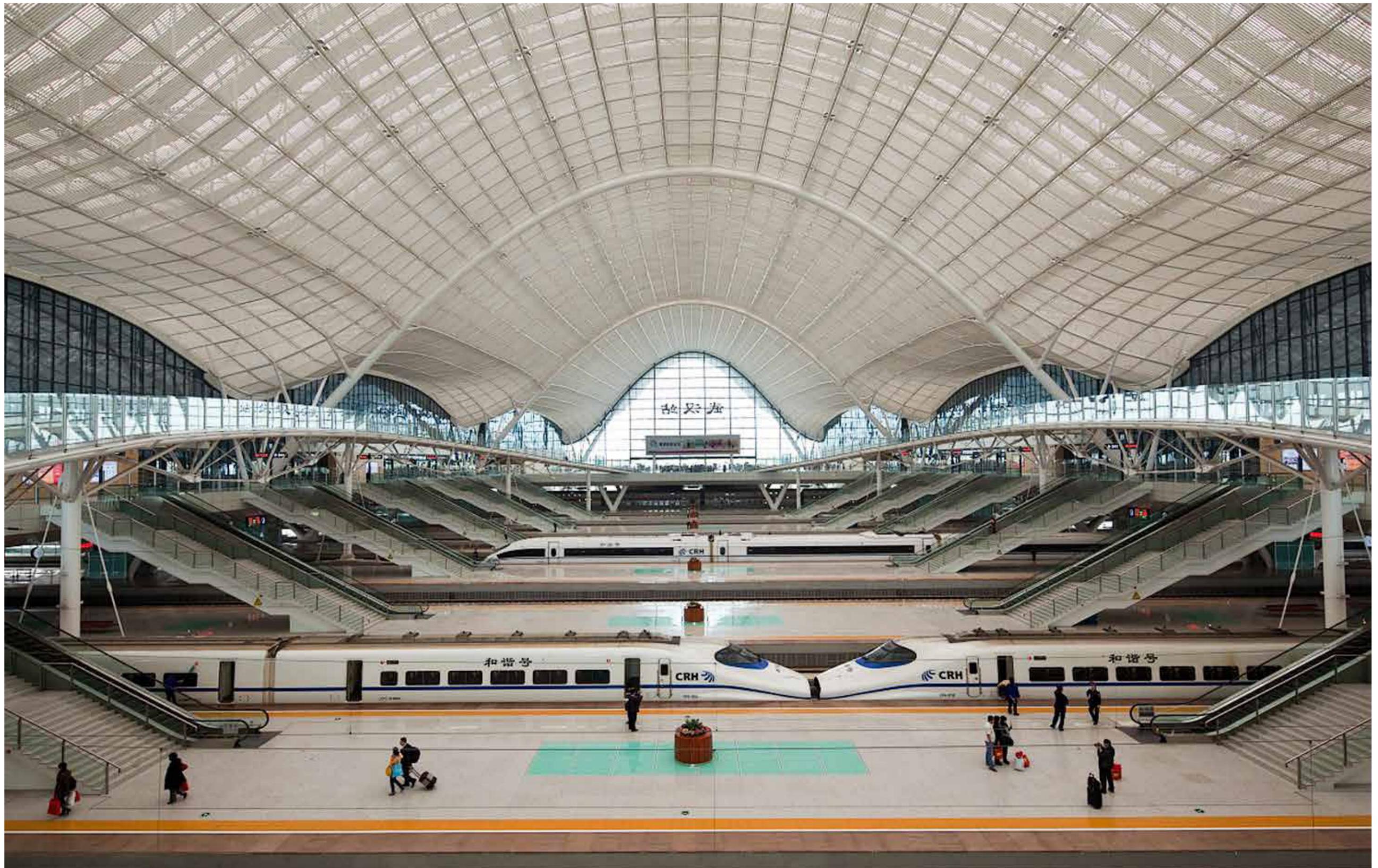


Structure de la toiture, plateformes des salles d'attente et coffrage des ponts



Coffrage et ferrailage d'une des arches de 48 m

Le grand hall d'accueil couvre une surface de 20 000 m². La toiture qui culmine à 50 m de hauteur est supportée par 5 arcs de 116 m de portée maximale. La structure secondaire constituée de poutres treillis croisées, franchit 64,5 m de portée transversale. Des passerelles sous-tendues longent les façades des salles d'attente.



La gare est récompensée par le Brunel Award 2012 dans sa catégorie.



Stade de la ville du Mans



Finesse des structures secondaires, grande portée, fléaux en treillis des sections standards de cornières renforcées par des plats, optimisation poussée du poids de la charpente (80 kg/m²) avec une justification aux eurocodes de l'ensemble des calculs et dispositions constructives.

La structure métallique est basée sur une trame variable par zone. Ainsi l'entre axe entre poutres est de 14 m en zone courante pour une portée de 27 m et 20 m pour les tribunes nord et Sud pour une portée de 30 m. Chaque poutre est constituée d'un treillis de type Pratt à hauteur variable et à section triangulaire à 3 membrures (2 inférieures et 1 supérieure) .

Les deux faces latérales de la poutre sont peintes et composées d'un treillis plan avec des membrures en cornière renforcée par un plat de hauteur et épaisseur variable selon les efforts en jeu, des montants en U, et des diagonales en cornière simple ou double

Fiche Technique :
Poids structure Acier : 1600 T - 80 kg/m²
25 000 Places Assises
Superficie : 20250 m²
Emprise totale du stade : 44100 m²

Phase :
livré en janvier 2011

Budget des travaux :
85 000 000 Euros

Maître d'ouvrage :
Ville du Mans et Vinci concession

Maître d'œuvre :
Cardete Huet et Bruno Huet
Architectes, G. Sevin paysagiste, Peutz acousticien, ducks scénographe, MaP3 Structure Couverture + façades
phase EXE : MaP3 Bet structure charpente métallique

Entreprises :
Vinci construction - Heulin - Sirc - ZM - Gagne.

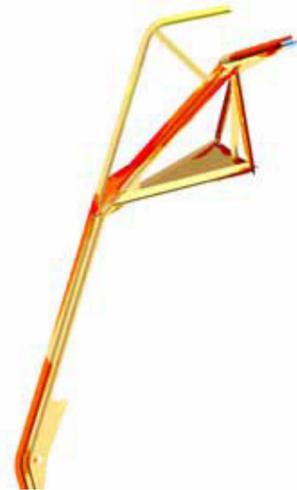
Bureau de Contrôle :
Socotec

Etudes de soufflerie au vent :
CSTB Nantes



Montage de la toiture sur la tribune sud, présentant un porte-à-faux de 30 m.

Le stade vu du ciel, à proximité du circuit des 24 h du Mans.



Les flèches en attente, avant pose des poutres treillis. Ils s'appuient par un V sur un appui sphérique permettant une articulation dans tous les sens. Les copeaux sont soudés sur les cornières des poutres treillis.

Le schéma statique change selon que la charge est vers le haut ou vers le bas. Maquette d'étude réalisée pour vérifier que le passage d'un schéma à l'autre se fait sans chocs dans les tirants.



Vue des tirants d'ancrage de diamètre 120 mm en façade.

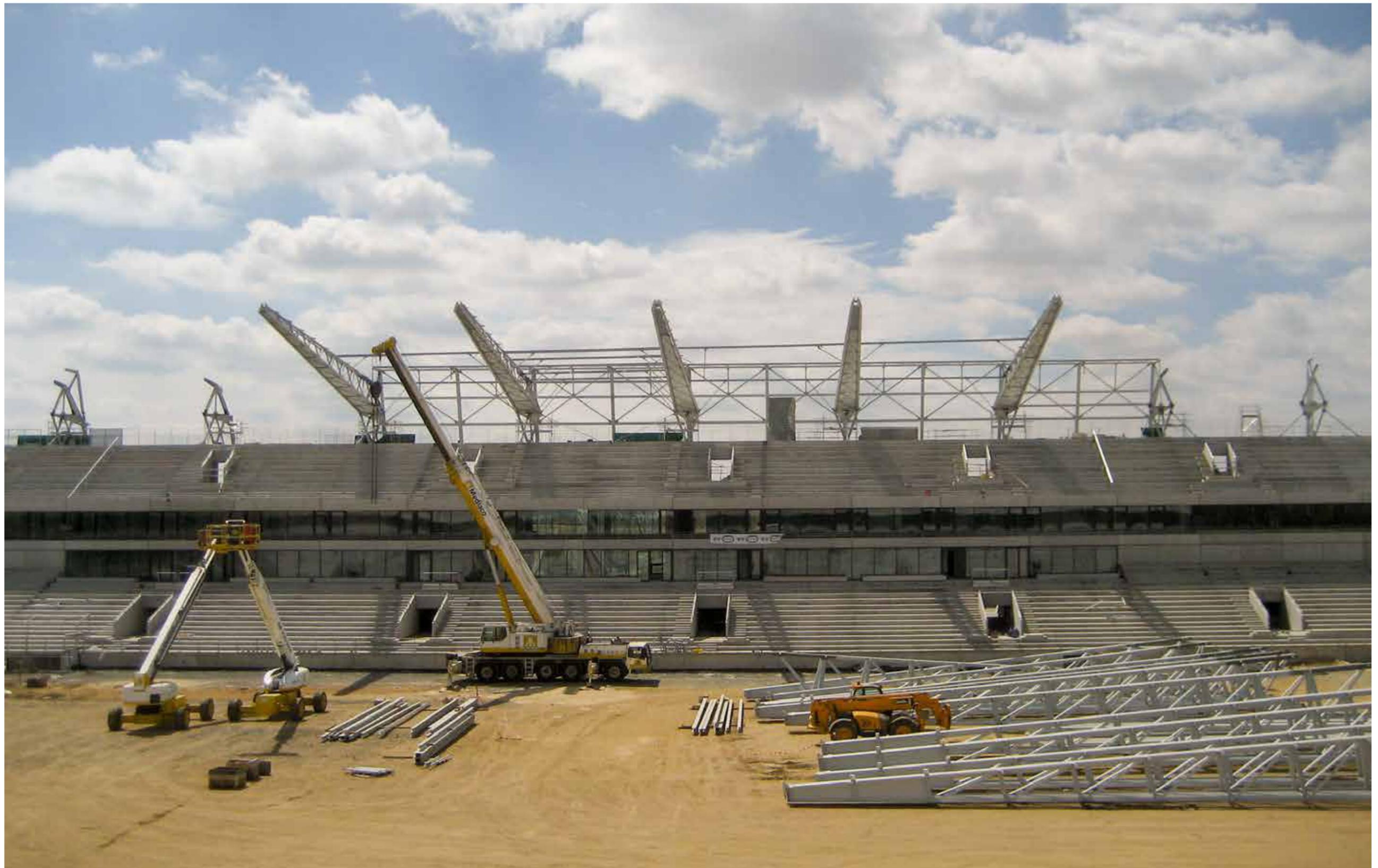


La toiture sud s'appuie sur des poteaux sous tendus par des câbles paraboliques. Ces poteaux ont été fabriqués avant ceux, similaires de la gare de Qingdao, servant ainsi de test.

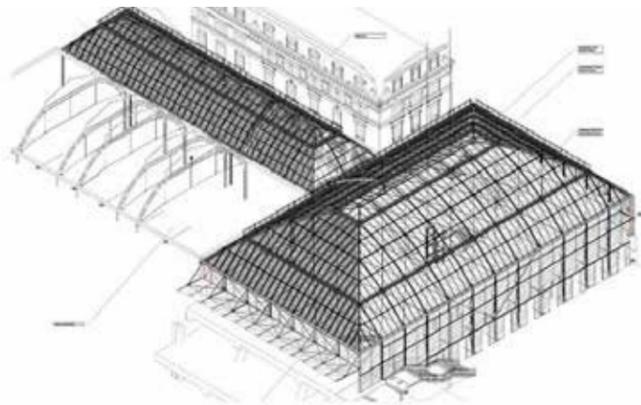


Poutres de toitures en treillis cornière, 2 faces peintes et une face galvanisée intégrant une passerelle d'accès en métal déployé. Des bracons soulagent la portée des pannes, pour les affiner au maximum.

Vue de la tribune Est pendant les travaux. Montage des consoles treillis caisson. En arrière plan, on voit la triangulation jouant le rôle de sécurité en cas de rupture d'un des tirants (Redondance).



Gare de Lyon, Paris — extension plateforme jaune Hall 2



Fiche Technique :
Portée : 35 x 60 et 13x52 m
Surface : couverture 2800 m²
Poids structure : 200 T

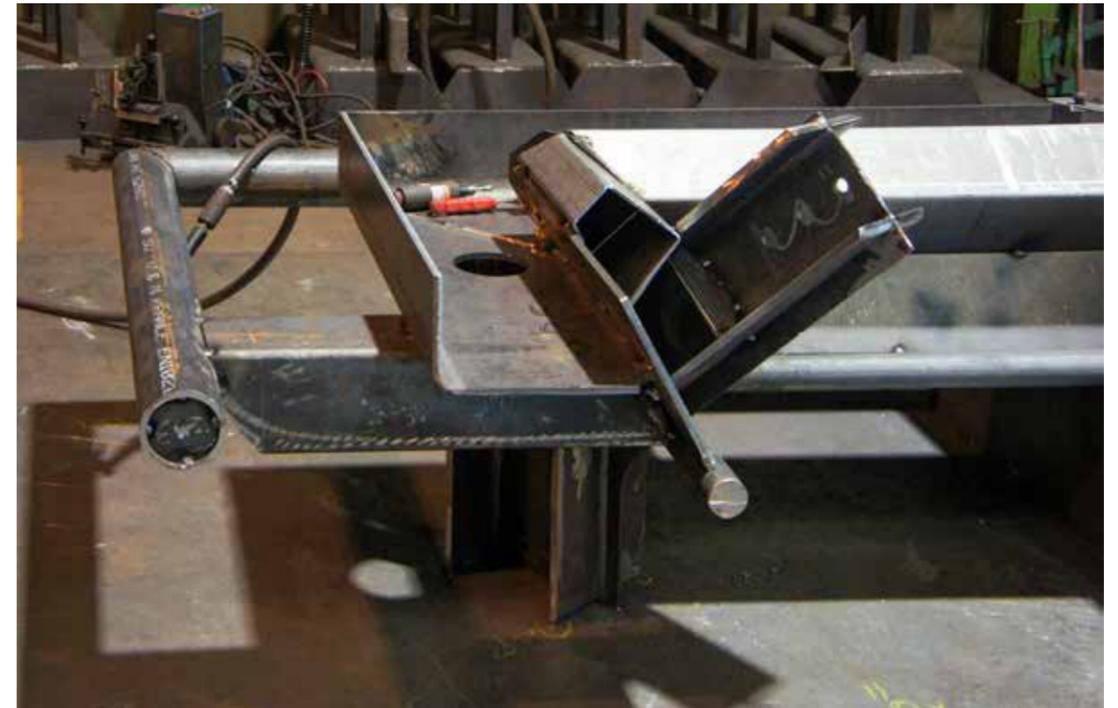
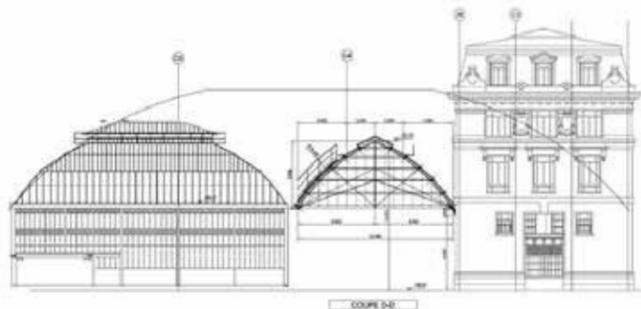
Date de livraison :
2012 et 2013

Budget des travaux :
35 Millions d'Euros

Maître d'ouvrage :
Gares et Connexions

Maître d'œuvre :
AREP - SNCF (Architecte)
MaP3 (Structure et enveloppes)

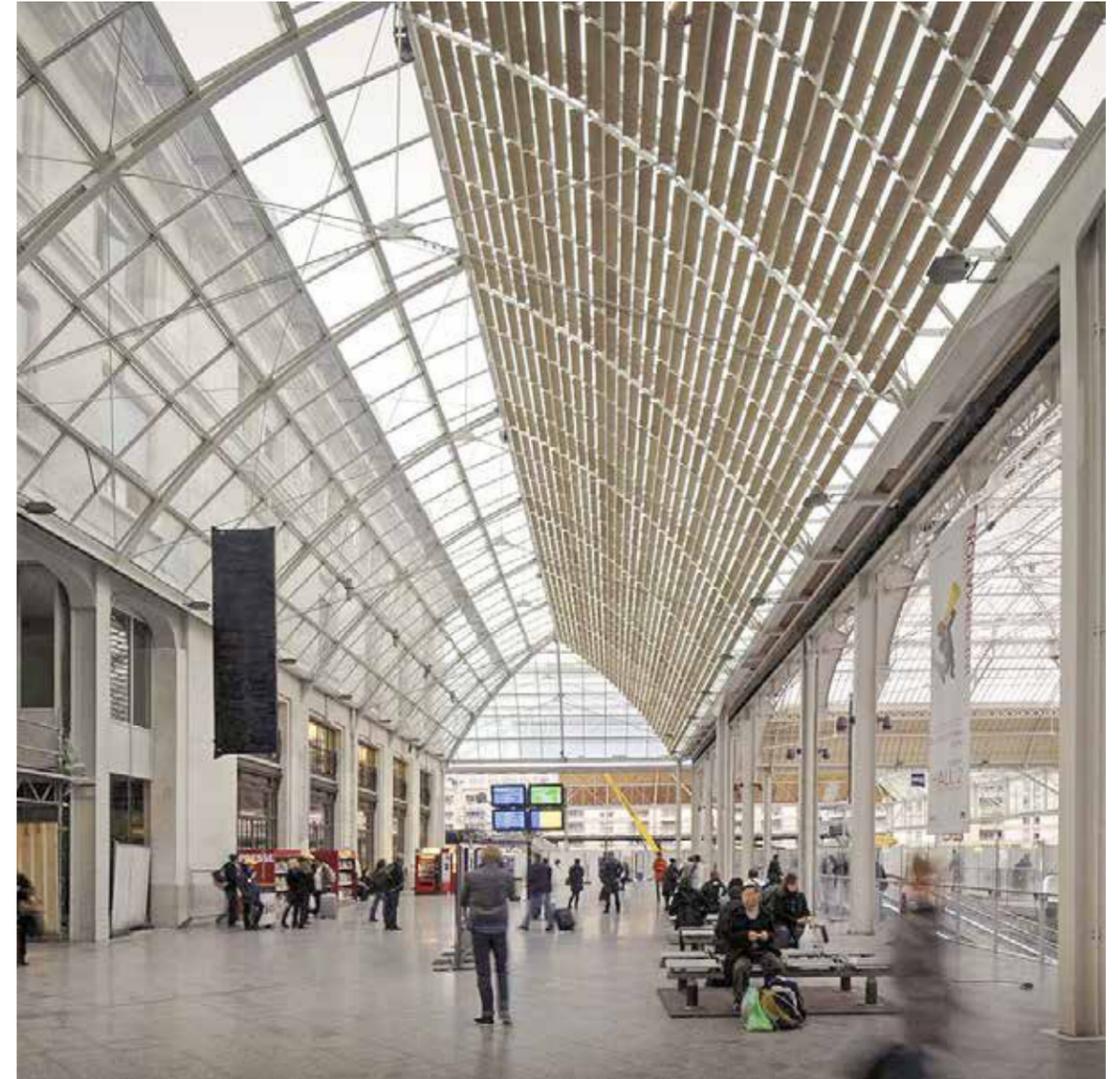
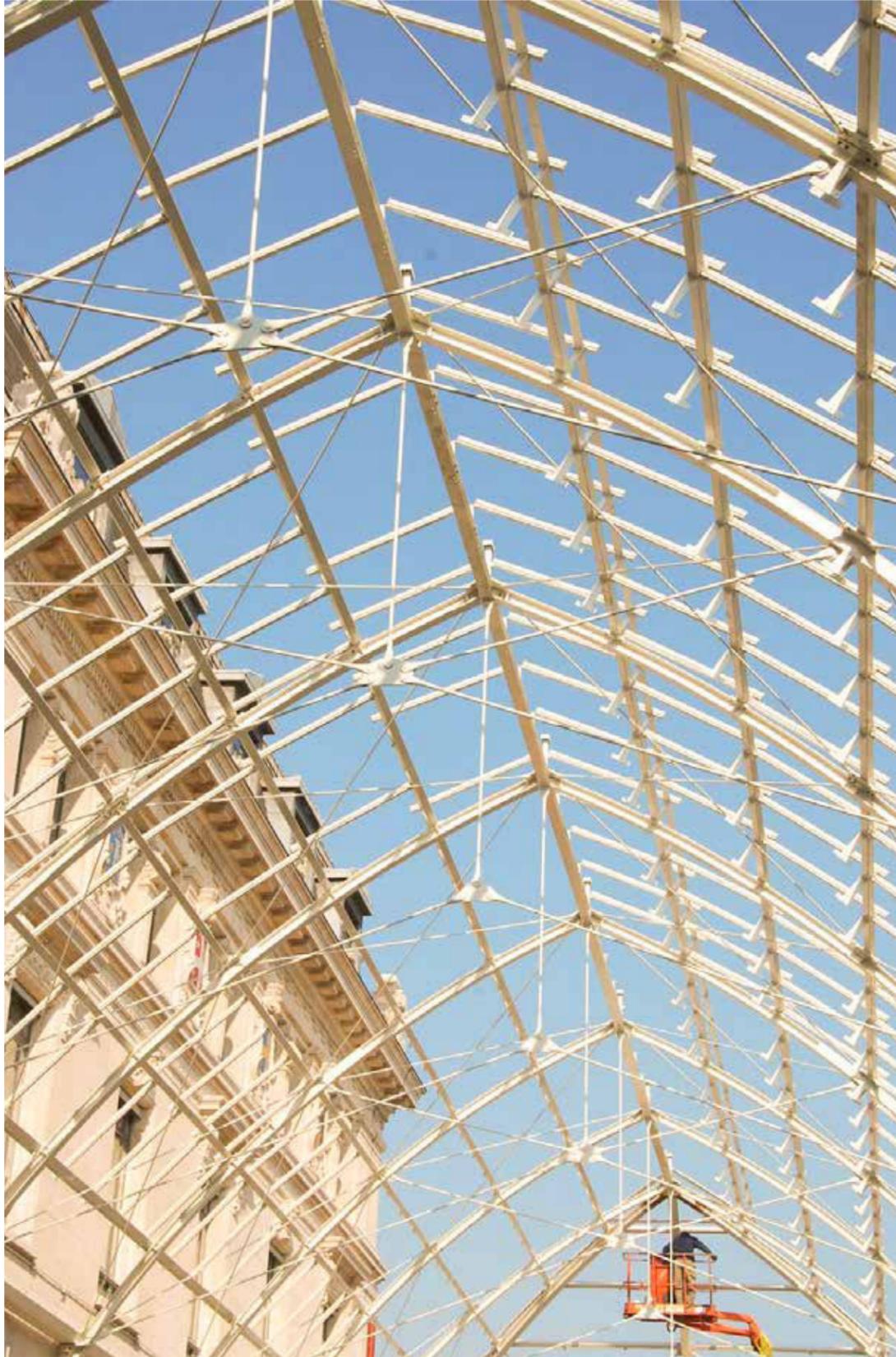
Entreprises :
Gagne



L'extension de la „plateforme jaune”, située vers les voies à chiffres, comprend la création de 2 verrières de 35 x 60 m et de 13 x 52 m.

Le contexte historique est l'occasion d'une traduction contemporaine des méthodes de l'architecture industrielle du XIXème siècle : trame liée aux capacités du verre, association de tôles et de profilés élémentaires pour composer de pièces élaborées, imbrication de l'acier et de la maçonnerie, chéneaux structurels, pièces forgées pour les tirants.

A la différence des charpentes de l'époque, la structure des 2 halles est conçue comme une résille bidimensionnelle qui associe les arcs et les pannes. Les efforts sont ainsi repris en traction-compression. La flexion devient résiduelle, ce qui permet d'obtenir une plus grande finesse.



Nouvelle verrière à gauche, et ancienne verrière à droite, construite en 1927, et restaurée.

Couverture des tribunes du Stade d'Agadir



Conçu par les architectes Gregotti (Italie) et Benkirane (Maroc), le Stade d'Agadir est conçu comme un talus, en déformation du terrain, surmonté d'un velum rouge, clin d'oeil aux cirques de la Rome antique.

La structure des gradins est repliée de terre.

La couverture est faite de 2 peaux en toile tendue sur une structure métallique en porte-à-faux sur 27 m. La peau supérieure est étanche, la peau inférieure est perforée, de sorte à ne pas retenir la pression du vent (le souhait de l'architecte est d'avoir une sous face très plane).

La structure métallique conçue en acier Corten peint, pour répondre à un cahier des charges demandant peu d'entretien en atmosphère agressive de bord de mer. Les éléments de structure sont en tôle pliée (épaisseur 6 à 12 mm).

Maître d'ouvrage :
Ministère des Sports - Maroc

Maître d'œuvre :
Sad Benkirane - Gregotti architectes
Team Maroc BET

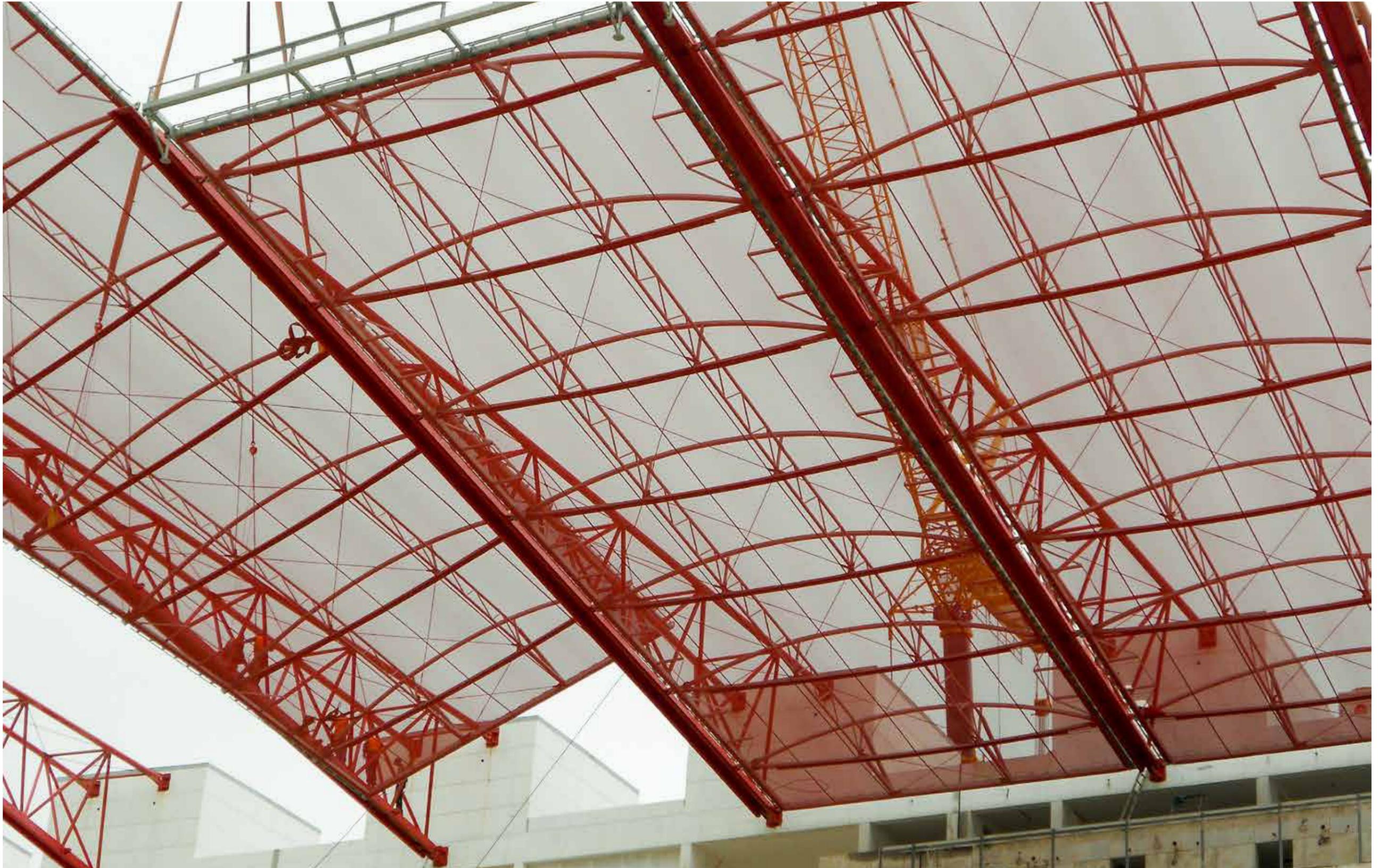
Bet Structure Acier :
MaP3 (Paris)



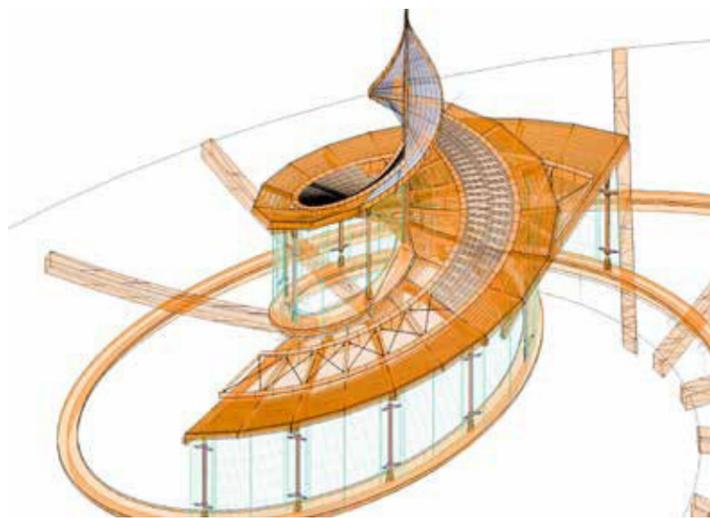
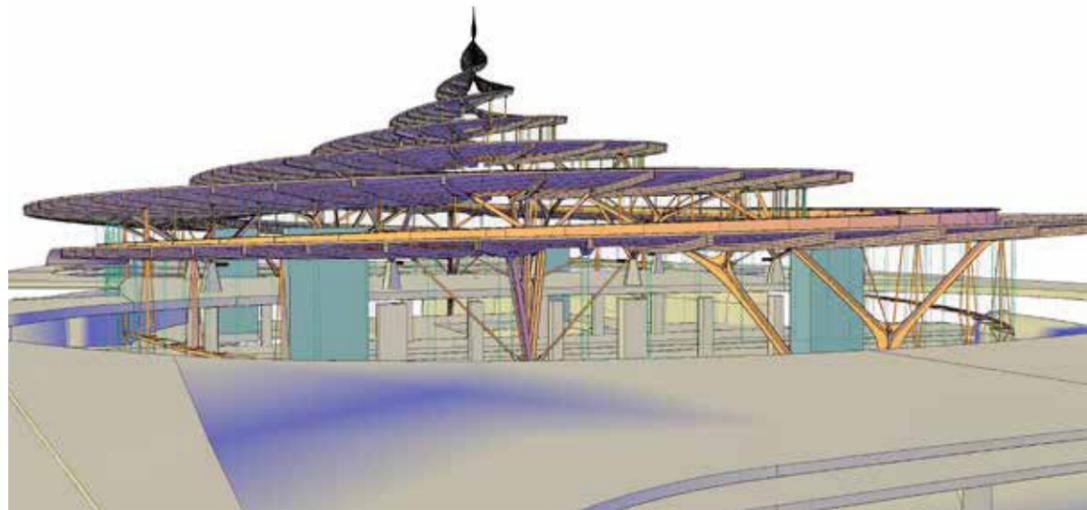
Mise en place des modules de toiture, de dimensions 10 m x 30 m.

Tribunes en béton remplies de terre, intégration dans le paysage.

Pose des modules de toile microperforée de la sous-face, montrant par transparence les baleines et les éléments de structure secondaire. Une deuxième toile étanche est ensuite tendue en surface. La forme des baleines n'est pas symétrique : l'extrados est plus courbe que l'intrados. L'architecte a prévu un plafond de toile plan, ce qui n'est pas possible en théorie, puisqu'une toile tendue doit avoir une double courbure inverse. La toile microperforée ne reprend que le 1/3 de la charge de vent, qui s'applique à 100% sur la toile étanche en surface. Cela permet de tendre au maximum sa courbure.



Gare de Noisy Champs – Grand Paris



Données techniques :

Surface de toiture 6000 m²,
structure bois et métal 500T
façades vitrées 3000 m²

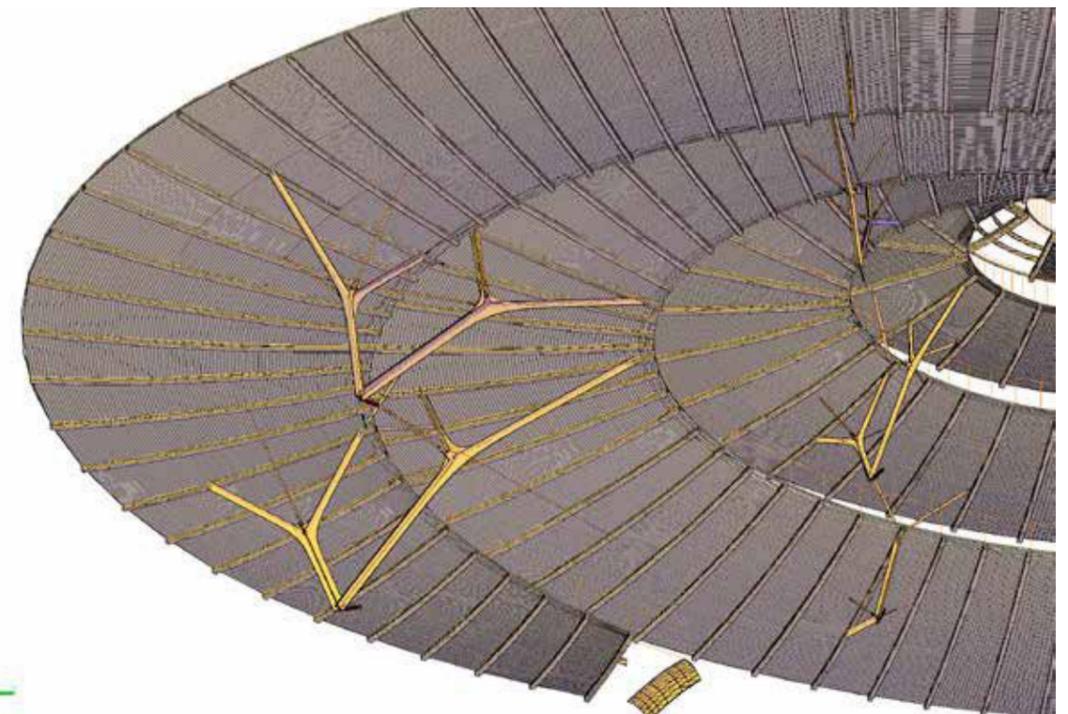
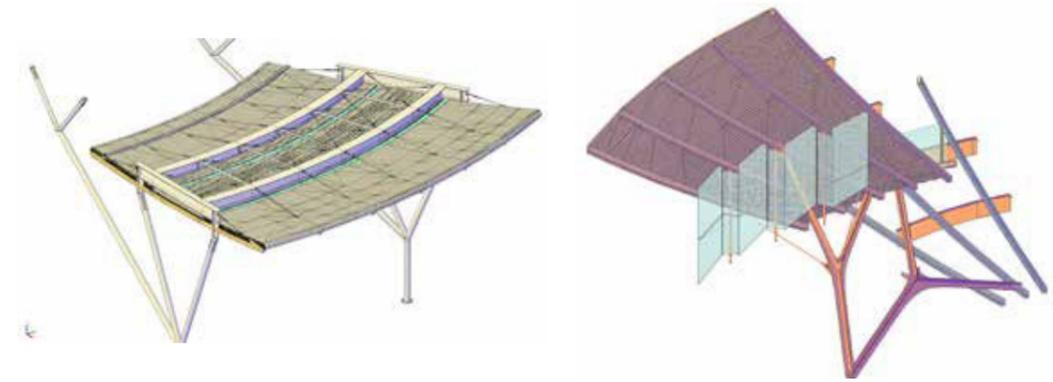
Passerelle piétonne et rampes
6300 m² en structure mixte
acier béton

Achèvement :
2022

Budget des travaux :
25 Millions d'Euros

Maître d'ouvrage :
Société du Grand Paris

Maître d'œuvre :
Systra (Ingénierie) Agence JM
Duthilleul et AREP (Architecte)
MaP3 (structure - enveloppe)



Nouvelle gare pour le réseau ferré du Grand Paris, accueillant les lignes 15 et 16, et le RER A. Conception de la toiture en collaboration avec l'Agence Duthilleul et AREP, pour le compte de Systra, maître d'oeuvre général. La toiture est constituée de 2 hélices entrelacées se rejoignant au sommet. Les hélices sont en structure mixte bois / acier, et s'appuient sur 12 poteaux arborescents. L'eau est évacuée en pied des hélices par 2 chutes d'eau.

Gare de Chengdu Est



Ce projet a été retenu après un concours en 3 phases qui a démarré en 2007.

Conception et calcul de la toiture en coopération avec l'Institut 2. Les masques en façade sont porteurs et assurent le contreventement de la toiture.

Mise au point d'un principe de ponts-rails sur appuis glissants pour éviter la transmission des vibrations et des efforts de freinage des trains au bâtiment.

Calcul et conception des ponts en collaboration avec IGOA (ingénierie de la SNCF).

Données techniques :

Surface : 90 000 m²
Poids structure métallique toiture : 9 000 Tonnes

Achèvement :
2010

Maître d'ouvrage :
Ministère des Chemins de fer.

Maître d'œuvre :
AREP (Paris)
Institut 2 (Chengdu)
Xi Nan Yuen (Chengdu)
MaP3 (ingénieur structures)
SNCF-IGOA (viaducs ferroviaires)



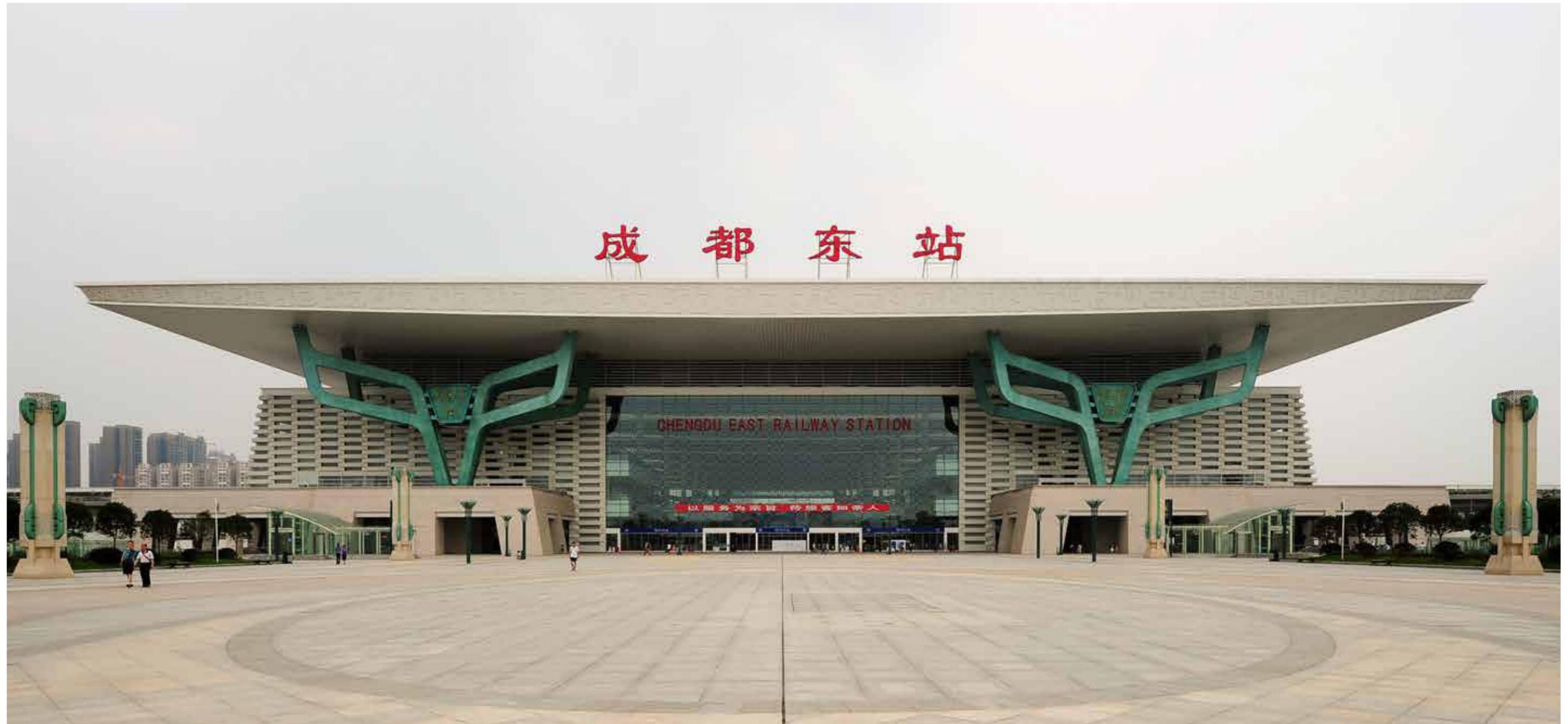
Vue de la façade côté voies ferrées, avec les piles espacées de 23 m.

La façade est entièrement suspendue et raidie par des câbles.

La toiture est constituée de poutres treillis s'appuyant sur des piles de largeur variable sur les quais. Structure des masques en caissons acier.



L'architecture de la gare est imposée par le ministère des chemins de fer, en référence à la tradition de Chengdu. Les „masques” en façade sont mis à contribution pour contreventer la toiture.



Aéroport d'Orly – bâtiment de jonction



Création d'un nouveau terminal reliant Orly Ouest et Orly Sud.

Notre équipe est en charge des études en phase PRO en collaboration avec Vinci Construction France (Bateg + Chantiers modernes), ainsi que du suivi des études d'exécution.

La structure comporte 2 niveaux de planchers mixtes repris par des poteaux acier remplis de béton pour la stabilité au feu. Portée des planchers : 9 m, portée en toiture : 18 m.

L'importance stratégique et la taille du bâtiment, inhabituels en Europe, nécessitent des études spécifiques, en conformité avec la classe CC3 de l'Eurocode, dont notamment une étude de robustesse.

Données techniques :
Surface toiture : 30 000 m²
Surface des planchers N1 et N2 : 40 000 m²
Budget: 250 millions d' Euros

Phase :
Construction

Maître d'ouvrage :
AdP

Maître d'œuvre :
AdP

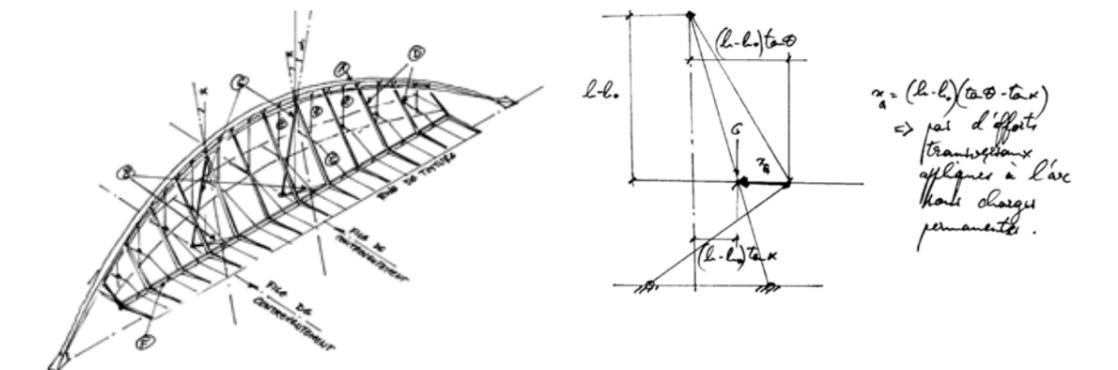
Entreprises:
Vinci Construction France avec
OMBA (charpente métallique) et
Simeon (Façades)



Vue de la structure en travaux : Les poteaux mixtes du hall ont un élancement de 33 (320 mm de diamètre pour 12 m de hauteur).

Nous accompagnons à présent Vinci sur la construction de l'extension du Terminal 1 à Roissy.





Montage de l'arc par 4 grues nécessitant une parfaite synchronisation pour ne pas charger un point plus que les autres. Le montage était la phase la plus critique pour les tôles et les soudures de l'arc.



Réglage et soudage des barres de contreventement - entreprise Intertridim



Réalisation de l'arc en tôle pliée de 8 mm

L'auvent de péage de Casablanca - Berrechid est la première réalisation de notre équipe.

Photo: Salim Aitali



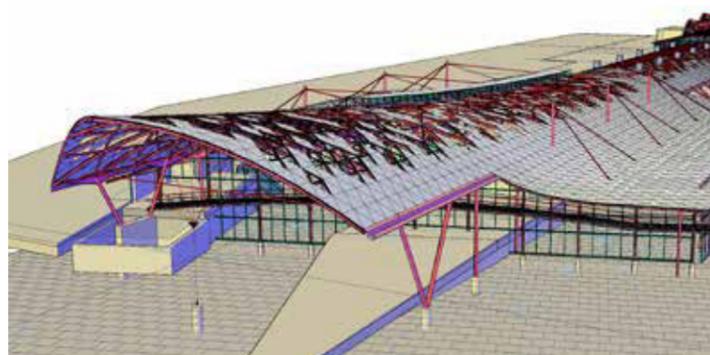
Gare de Lodz Fabryczna - Pologne



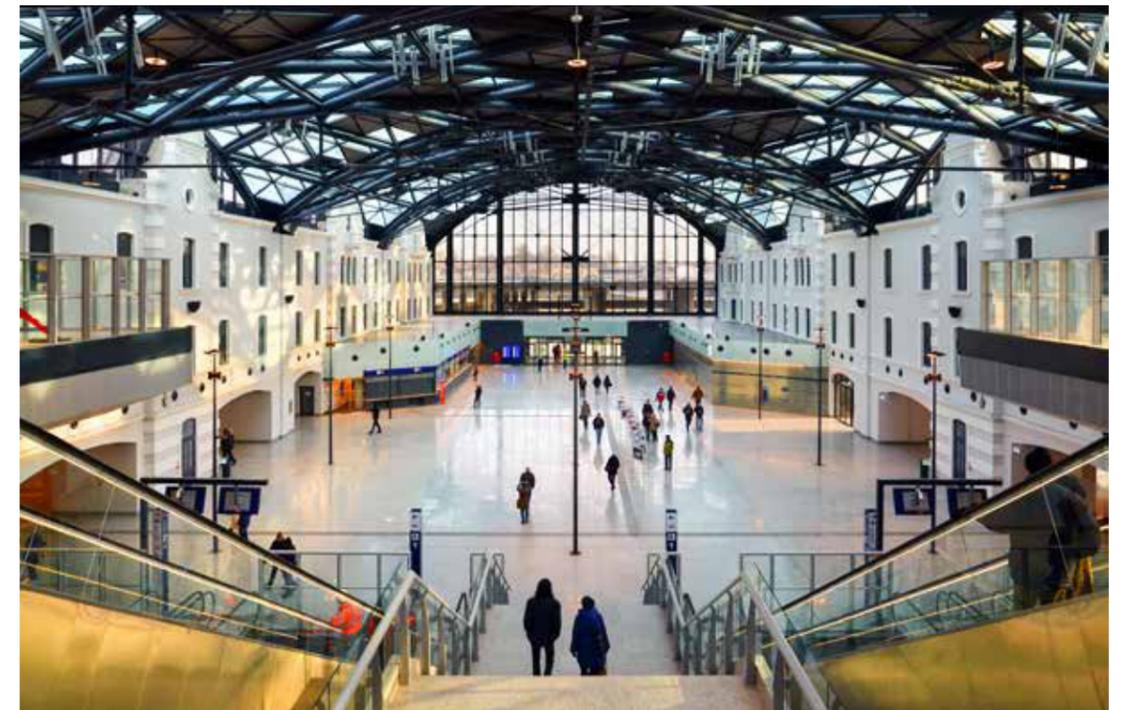
La gare de Lodz Fabryczna a été conçue conjointement avec les architectes de Systra Pologne. Financée par l'Union Européenne, c'est un des plus grands chantiers ferroviaires des dernières années. La nouvelle gare remplace une petite gare construite au XIXème siècle, desservant la cité ouvrière.

Les chemins de fer arrivent par un tunnel à 15 m de profondeur.

La toiture de 14 000 m² est divisée en 3 parties ayant chacune un fonctionnement structurel différent. La maille losange et la pixellisation triangulaire donne une unité à l'ensemble.



Données techniques :
Surface : 14000 m²
poids structure métallique toiture : 1500 Tonnes
Achèvement :
2015
Budget des travaux :
500 Millions d'Euros
Maître d'ouvrage :
Chemins de fer Pologne (PKP)
Maître d'œuvre :
Systra (Ingénierie et Architecte)
MaP3 (structure - enveloppe)

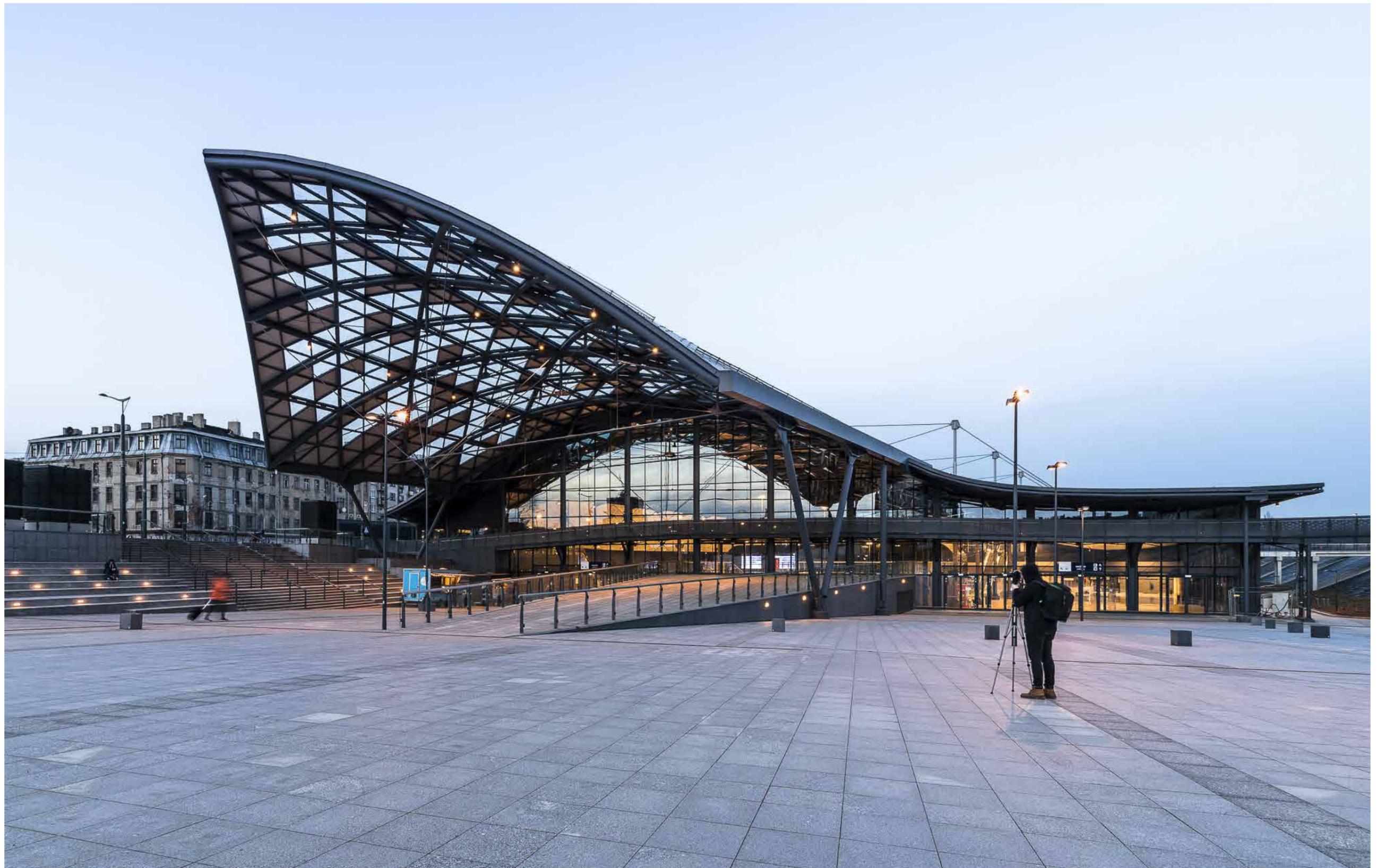


Sur la demande de la Ville de Lodz, le bloc EST intègre les tympans de l'ancienne gare reconstruits à l'identique. Le dessin de la verrière inclut des épaulements de hauteur progressive.

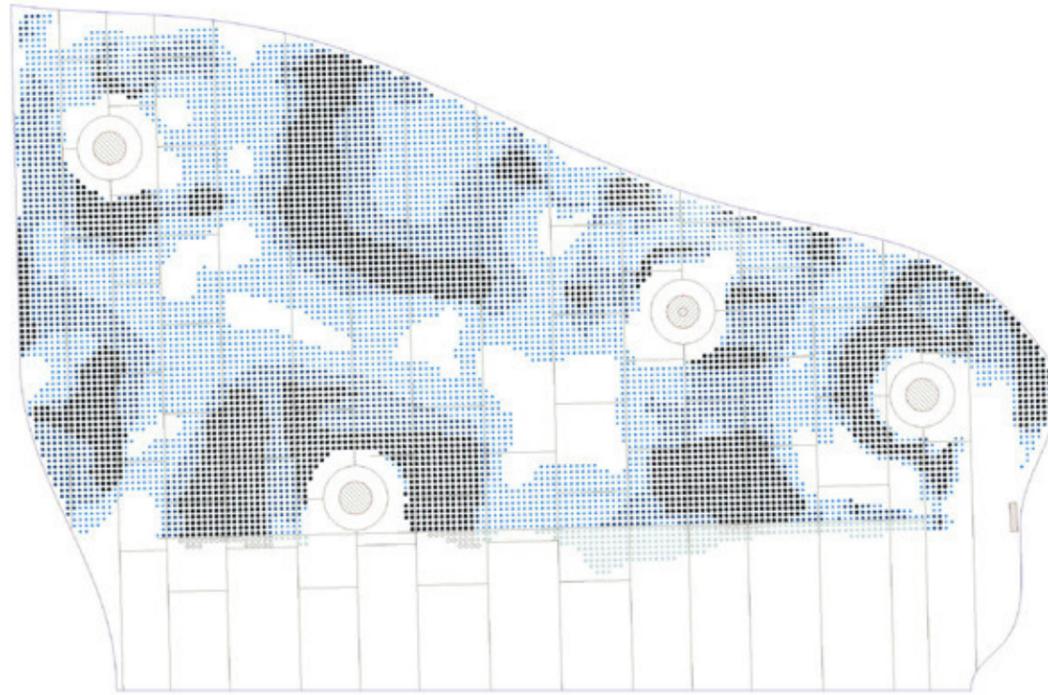
L'extrémité Ouest de la toiture se termine en grand auvent abritant le parvis principal en pente douce.

Un dispositif en câbles retient la toiture vis-à-vis du soulèvement.

Une passerelle piétonne ville-ville est portée par des consoles fixées aux montants de la façade de la gare.



Gare d'Austerlitz – Marquise Cour Seine – Paris

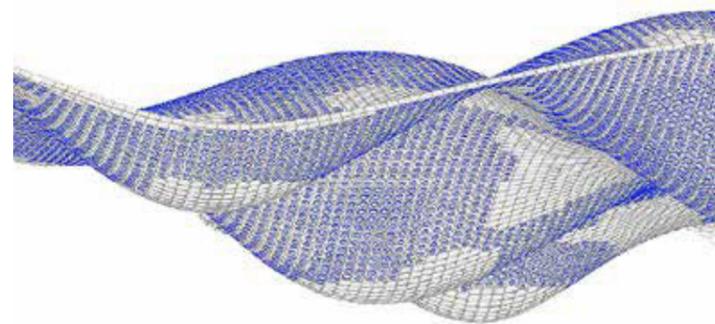


Création d'une marquise pour la couverture du quai transversal des voies de la gare d'Austerlitz, à l'interface entre la halle historique, la dalle de l'Avenue de France, couvrant les voies ferrées et la Cour Seine.

L'ouvrage est une coque en béton armé de 18 cm d'épaisseur reposant sur 3 poteaux. La portée maximale est de 15 m.

La coque est construite en assemblant des pièces préfabriquées de 3 m x 4 m environ. L'utilisation du béton préfabriqué permet d'obtenir une très bonne finition, une haute résistance et une bonne étanchéité.

L'ouvrage prévoyait initialement des pavés de verre, répartis suivant la cartographie des efforts dans la coque. Trop coûteux, les pavés de verre ont été abandonnés.



Fiche Technique :
Surface : 1100 m²

Phase :
Chantier

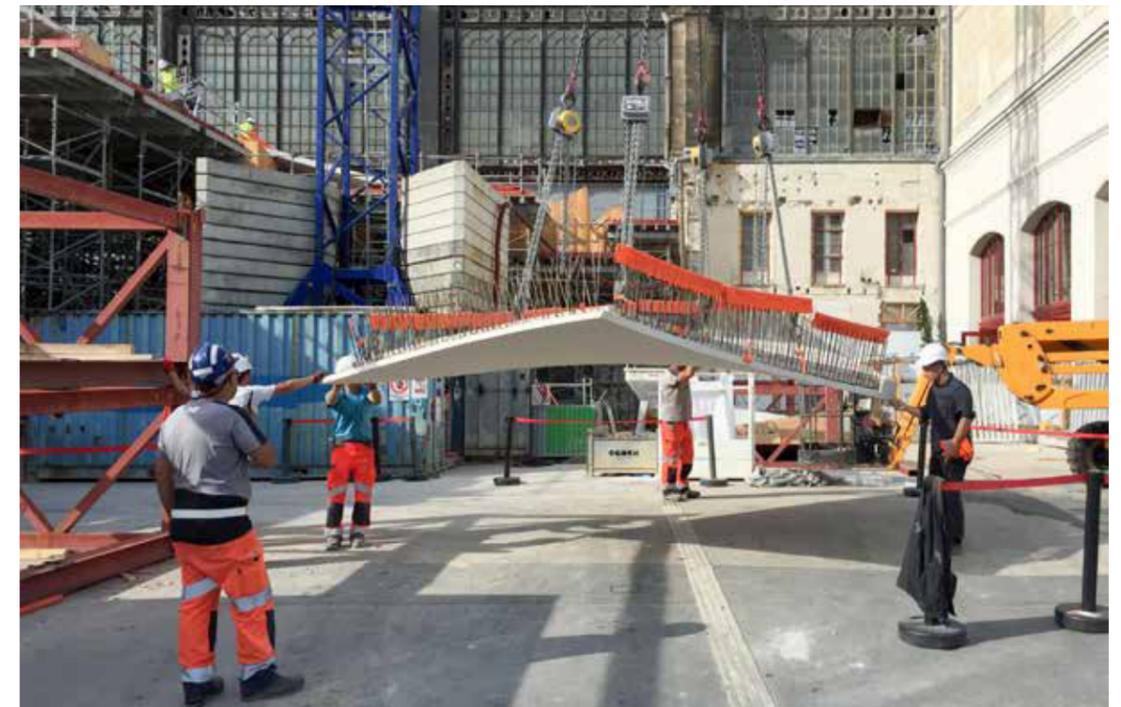
Budget des travaux :
1 600 000 Euros

Maître d'ouvrage :
Gares et Connexions

Maître d'œuvre :
AREP
Ateliers Jean Nouvel
(Architectes)
MaP3 (Structures)

Bet Structures :
MaP3 (Paris)

Entreprises :
Chantier Moderne - Vinci



Grutage d'une pièce préfabriquée, aciers de liaison repliés vers le haut. Après pose sur les vaux en bois, les pièces sont réglées pour garantir un joint constant de 2 cm d'épaisseur. Les aciers sont alors dépliés un par un pour couler la bande de clavage.

Vue de la coque après dépose des étais et des coffrages. La coque est en pièces préfabriquées, mais les poteaux sont en béton coulé en place. Ceux-ci intègrent les descentes d'eaux pluviales. Des trous de trop plein permettent d'évacuer l'eau en cas de bouchage.



Restructuration de la gare de Rennes PEM et lien urbain (35)



Extension de la gare de Rennes, à l'occasion de l'ouverture de la ligne grande vitesse inaugurée par le président en juillet 2017.

En groupement avec AREP, conception et calculs du nouveau bâtiment voyageur, d'une passerelle ville-ville appelée „lien urbain“ traversant les voies ferrées, de la dalle portant le parvis paysagé.

La gare comprend une passerelle qui traverse le plateau des 9 voies ferrées. La pose prévue par grutage a été réalisée sous ITC week end coup de poing programmé au préalable en collaboration avec les services de la SNCF. La structure est composée d'un tablier béton sur ossature mixte acier béton. Conception des appuis avec prise en compte du choc ferroviaire.



Achèvement :
en cours de chantier, livraison prévue en 2018

Budget total :
50 Millions d'Euros

Maître d'ouvrage :
Gares et Connexions

Maître d'œuvre :
AREP (Architecte)
MaP3 (ouvrage de franchissement - structure - enveloppe)

Construction :
Léon Grosse (Entreprise Générale)
Gagne (Charpente Métallique et Verre)
Vector Foiltec (ETFE)

Données techniques :

Nouvelle couverture en ETFE
zone Nord, Ouest et Sud sur-
face de 3700 m².

Façades vitrées surface globale
de 3800 m².

Création de nouveaux planchers
en ossature mixte acier béton
pour bâtiment voyageurs sur 4
niveaux d'une surface globale
de 3400 m².

Création de 4400 m² de plan-
chers dalles béton dont 3800
m² pour les paysages construits
Est et Ouest avec interfaces
appui sur ouvrages existants de
la gare et du métro.

Passerelle de liaison sur voies
ferrées de 70 m de long, 12 m
de largeur moyenne avec accès
direct aux quais par escalators.



La couverture en ETFE est munie de rives tubulaires gonflées enveloppant entièrement la structure pour donner une impression de brume voulue par l'architecte. Des ouvertures vitrées ouvrent des points de vue vers l'extérieur. Les poteaux arborescents ont des branches en chêne lamellé collé travaillant en compression simple.

La charpente aux formes d'une grande complexité est dessinée à l'aide de formules mathématiques. Cela permet un paramétrage de la géométrie et des ajustements à la demande.

Les escaliers fixes de 20 m de portée sont encastrés en pied pour satisfaire les contraintes de vibration.

