

Atoll flottant en milieu urbain

Maître de l'ouvrage

Ville de Zurich, Service des bâtiments

Architectes

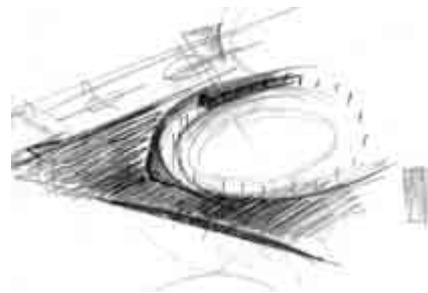
Bétrix et Consolascio, architectes avec Eric Maier, Erlenbach

Ingénieurs de construction métallique

Walt + Galmarini, Zurich

Année de construction

2007



La toiture en acier du stade du Letzigrund, avec son grand porte-à-faux planant, est supportée par des paires de poteaux dansants. Une large rampe d'accès, très légèrement inclinée, permet de découvrir aussi bien l'espace ouvert du stade que la ville de Zurich. Derrière la poésie et la légèreté de la forme se cache la maîtrise d'un travail de précision exigeant.

Chaque stade est un colosse dans le tissu d'une ville. La différence d'échelle entre la structure urbaine et un paquebot pouvant contenir jusqu'à 30'000 personnes est inévitablement gigantesque. De l'extérieur, la plupart des stades se barricadent derrière une enveloppe froide, fermée – tous les regards étant tournés vers le terrain de jeu. Pour la ville de Zurich, cet aspect était un point névralgique. Car le nouveau stade du Letzigrund devait être érigé dans une partie de la ville où, suite au développement de celle-ci, quartiers d'habitation et quartiers d'affaires sont étroitement imbriqués. Les habitants craignaient que le colosse ne soit la plupart du temps, à l'exception de

quelques heures d'excitation par semaine, désert et inutile, alors qu'il occupe un espace précieux. Les architectes ont donc développé pour le nouveau stade un concept permettant son insertion dans ce tissu urbain. D'une part, par l'intégration et l'organisation spatiale du stade, et d'autre part, par une utilisation vivante de l'enceinte et des infrastructures en dehors des moments des jeux.

Intégration urbanistique

La topographie du lieu vient à la rencontre de cette idée. Sous le stade existant se trouvait une ancienne gravière, qui apportait la preuve que l'on pouvait sans





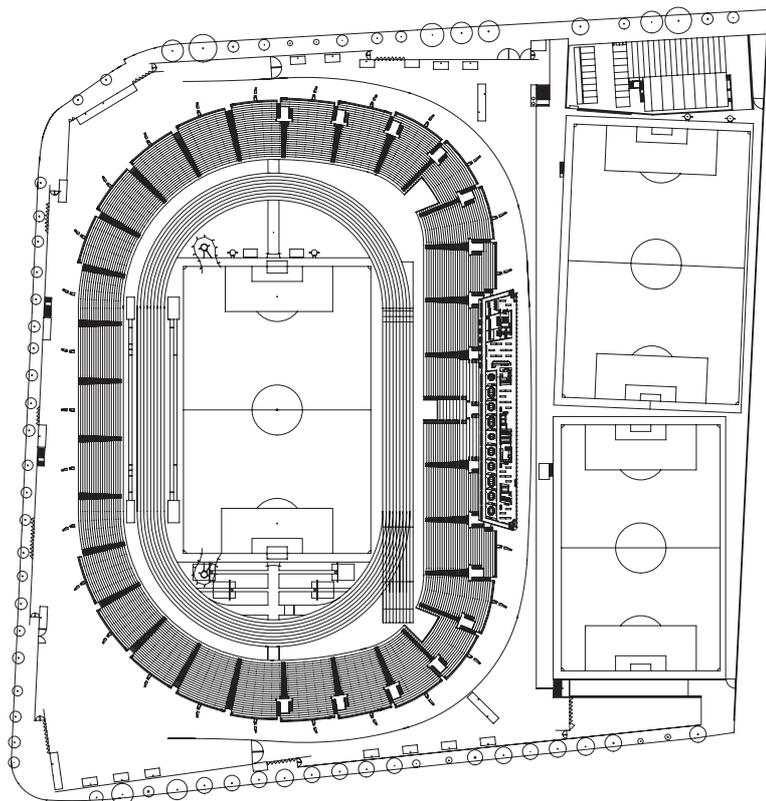
Une généreuse rampe d'accès, très légèrement inclinée, couronne les tribunes et permet de découvrir aussi bien l'espace ouvert du stade que la ville de Zurich.

autre procéder à une excavation. Un effet secondaire positif est l'utilisation du matériel excavé comme matériau de fabrication pour le béton des fondations du stade. Les architectes ont trouvé des analogies avec les stades antiques, comme par exemple l'amphithéâtre de Syracuse, dont le niveau de la scène est plus bas que la ville. Ainsi, le stade du Letzigrund ne s'élève qu'à 14 mètres au-dessus du niveau du sol, celui de la pelouse étant situé à 7 mètres de profondeur.

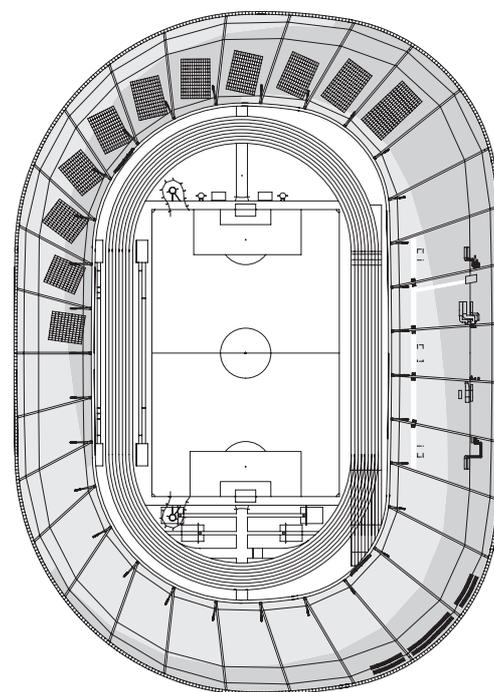
De l'entrée principale, on pénètre dans le stade au niveau même du sol et on monte doucement sur une large promenade en une pente à peine perceptible de 2 pourcent, avec vue aussi bien sur la ville que dans le stade en contrebas. Le corps du stade s'intègre si facilement dans la hauteur que le volume apparaît plutôt comme une topographie construite. Le point le plus haut se situe sur le long côté de l'ovale, opposé à l'entrée. De là, la pente s'inverse et l'ovale se referme. On doit se représenter cette géométrie comme une assiette à soupe ovale reposant de façon légèrement inclinée sur un lit de sable.

Atoll flottant et poteaux dansants

La toiture est un baldaquin de protection qui plane comme un atoll annulaire au-dessus de l'ovale du chemin de ronde et des tribunes des spectateurs. Ce toit matérialise la dynamique de l'évènement. Sa face inférieure est lisse et tirée comme un trait de pinceau autour de l'arène – entre le terrain de jeu et la ville. Pour atteindre cet effet planant, la toiture est supportée par des paires de poteaux, si bien que l'entier de l'espace situé sous la toiture paraît se dilater et les arêtes du toit se fondre dans le ciel. Ces paires de poteaux sont non seulement biaisées, mais leur direction est différente et ils sont encore tournés l'un par rapport à l'autre. L'idée architectonique sous-jacente est de dissimuler leur fonctionnalité, bien que celle-ci ne puisse être ignorée, en faveur de l'autonomie visuelle du toit flottant. L'illusion est aussi le résultat de la géométrie différente des tribunes et de la toiture, dont les rayons et les centres sont différents. Les poteaux, pièces de liaison entre ces deux géométries, s'adaptent en pied à la géométrie des tribunes et en tête à celle de la toiture.



Plan au niveau de la rampe



Plan de la toiture

Géométrie complexe

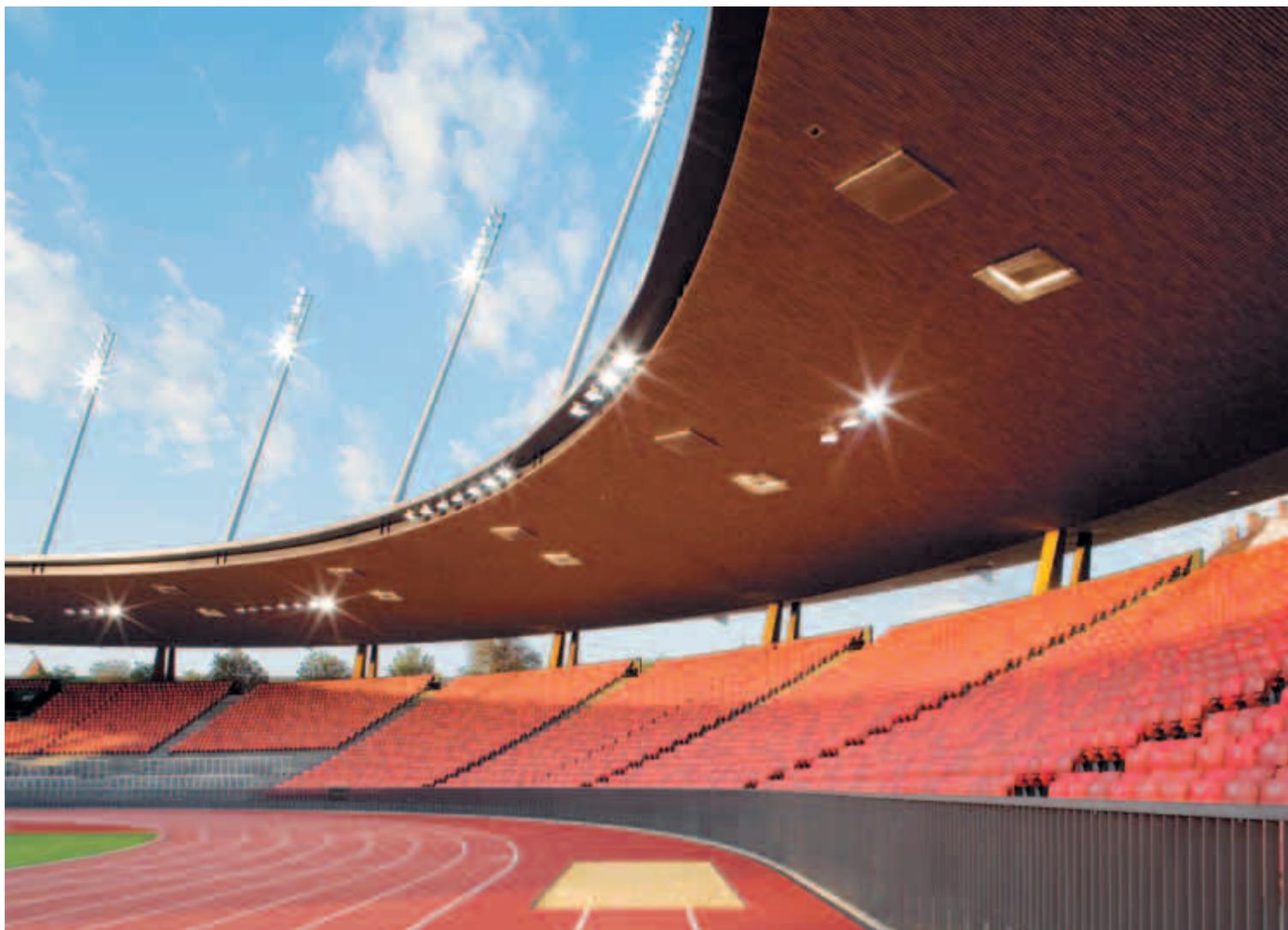
Un aspect de la particularité géométrique de la toiture est la disposition des mâts d'éclairage de 20 mètres de haut qui constituent un élément essentiel de la mise en scène nocturne du stade. Ces mâts sont légèrement inclinés vers l'extérieur et bordent à distances absolument régulières l'arête annulaire intérieure de la couverture. Cela signifie que les axes porteurs de la toiture ne sont pas centrés sur un même point, ce qui aurait eu pour conséquence des distances plus faibles dans la courbe intérieure de l'ovale. En plus, la toiture située du côté des tribunes principales est plus basse, et l'ovale lui-même n'est pas symétrique. Il a un côté long plus grand à cause de la piste d'athlétisme et ainsi deux axes des courbes différentes, à savoir l'un réduit et l'autre élargi.

Ainsi chaque segment du toit a des dimensions différentes et naturellement d'autres sollicitations. La toiture en acier du stade du Letzigrund possède le plus grand porte-à-faux d'une structure porteuse en Suisse, soit 33 mètres en direction de l'intérieur du stade. Par rapport aux dimensions de la toiture, les poteaux paraissent ainsi très fins et élancés.

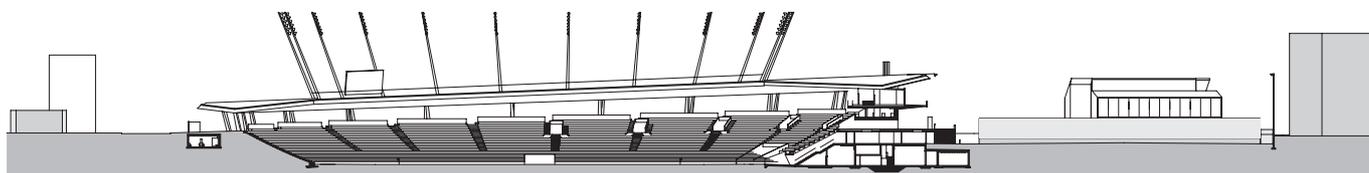
Toiture en porte-à-faux hardi

Les éléments porteurs principaux de la toiture en acier sont constitués de 31 poutres composées à âme pleine d'une longueur maximale de 40 mètres et supportées chacune par une paire de poteaux. Le porte-à-faux de ces poutres au-dessus de la tribune principale est de 33 mètres, alors qu'il dépasse à peine les 20 mètres de l'autre côté. La hauteur des poutres est variable de 1,10 à 3,45 mètres, pour une longueur entre 29 et 43 mètres. L'épaisseur des tôles varie de 20 à 100 mm. Le poids de l'élément le plus lourd est de 52 tonnes.

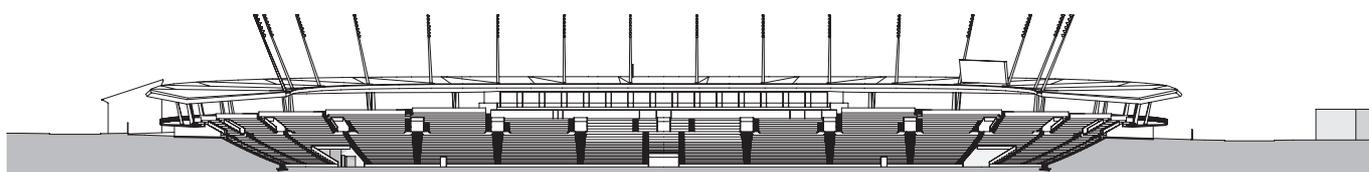
Les poutres ont été fabriquées avec une déformation initiale de façon à présenter la forme souhaitée sous l'effet de leur poids propre. La contreflèche à la pointe du plus long porte-à-faux est de 34 centimètres, qui tient compte aussi du poids des mâts d'éclairage installés après coup. Les champs situés entre les porteurs principaux sont couverts par des pannes perpendiculaires continues dont la portée peut atteindre 24 mètres. La hauteur constante de ces pannes est de 60 centimètres, sauf pour les pannes intérieures. La poutre constituant le bord intérieur de



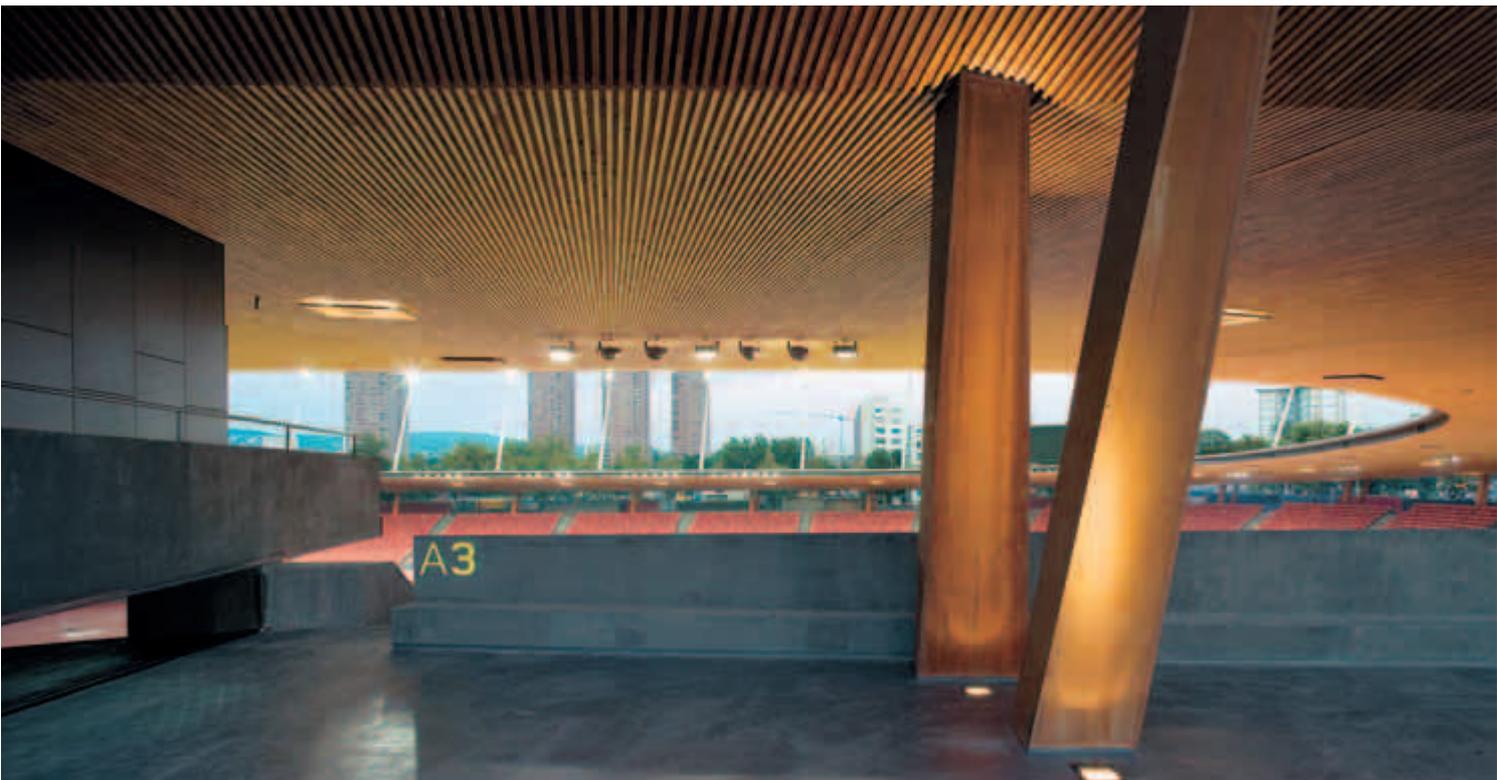
Au départ, le stade a été conçu pour le championnat d'athlétisme. En raison du championnat européen 2008, on y jouera également du football.



Coupe transversale

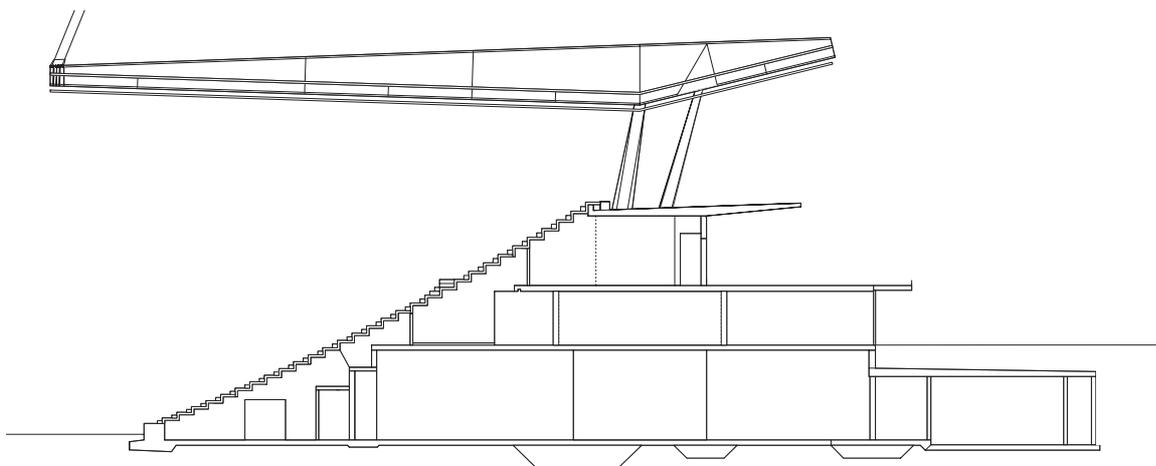


Coupe longitudinale



Les poteaux dansants sont des paires de poteaux en acier – l'un comprimé, l'autre tendu – qui stabilisent la toiture et portent des poutres d'une longueur de 40 mètres. Ceux-ci s'écartent de la géométrie radiale du stade, ce qui entraîne une rotation des poteaux.

Tous les locaux nécessaires ont trouvé place sous la colline remblayée de la zone nord: vestiaires, bureaux, piste d'approche et salle de gymnastique. Le seul volume sous le toit abrite le restaurant.



Coupe, M 1: 4000

la toiture est un profilé HEA 700 cintré selon son axe faible dont le plan correspond à la piste d'athlétisme située au-dessous. Des joints de dilatation des pannes sont disposés tous les trois champs, pour permettre les mouvements de la toiture dus aux variations de températures.

Le ballet des poteaux

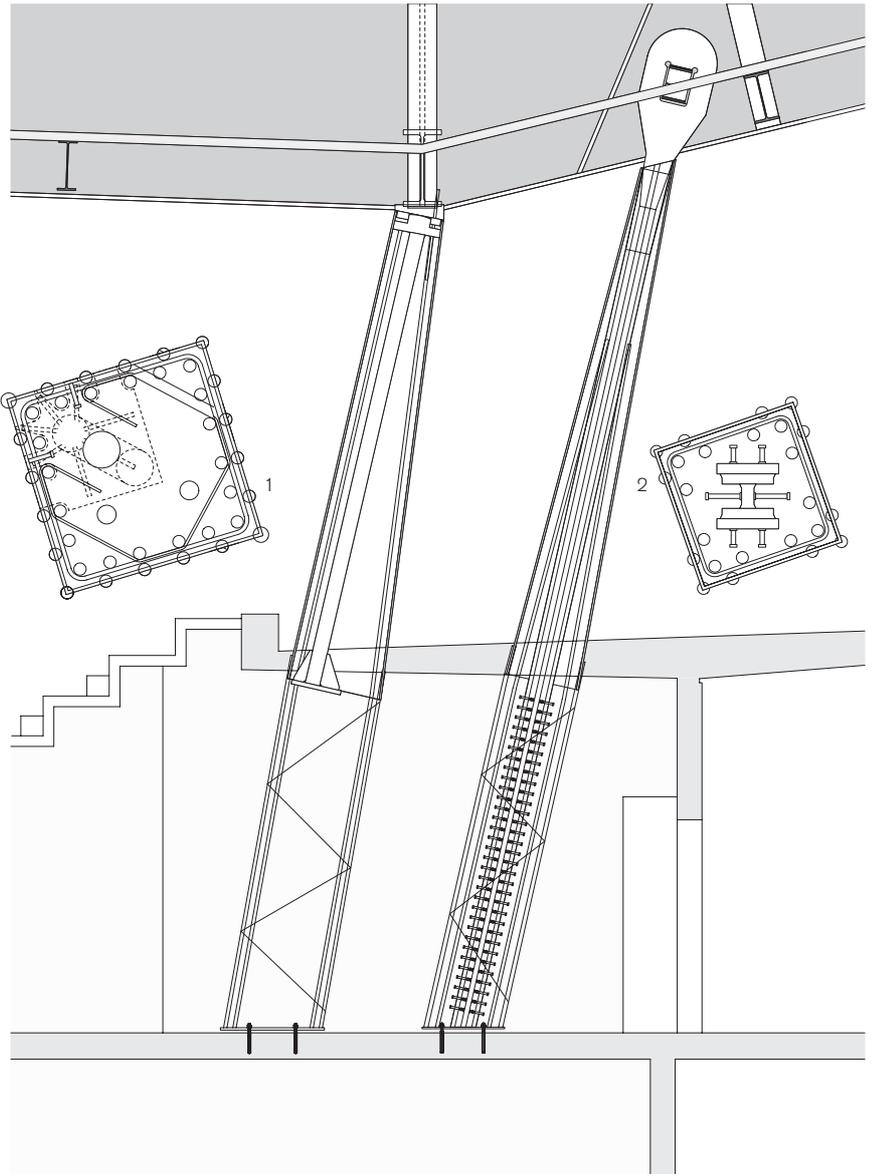
Les poteaux sont inclinés et ont une section transversale qui diminue de façon continue de bas en haut. En outre, les plaques de tête et de pied subissent une rotation l'une par rapport à l'autre. Celle-ci est due à la position différente des axes radiaux de la géométrie des tribunes et de celle de la toiture. L'angle de rotation détermine également la rotation des sections respectives des poteaux et se monte au maximum à 19 degrés. Comme le toit est plus élevé du côté de la

tribune principale qu'en face, les poteaux ont des longueurs différentes. Il en découle que chaque poteau possède sa propre géométrie et ses propres sollicitations, ce qui représentait un défi majeur aussi bien pour l'analyse structurale que pour l'exécution.

Les poteaux sont des profils en caisson constitués de tôles fortes soudées et d'un noyau en acier plein. Ils ont été remplis de béton après la pose d'une armature. Dans leur zone visible, ils sont fait d'acier patinable qui prendra une couleur brun-rouge après que le processus d'oxydation – constituant paradoxalement une protection contre la corrosion – ait eu lieu. Comme, lors de la fabrication en atelier, les poteaux devaient être tordus à l'angle voulu, l'épaisseur maximale des tôles a dû être limitée à 20 mm.

1 Les poteaux comprimés ont une largeur de 100 cm en pied et de 60 cm en tête. Ils sont armés de 20 barres longitudinales. A l'intérieur se trouve un acier rond plein de 180 mm de diamètre liant la plaque de tête à l'angle inférieur.

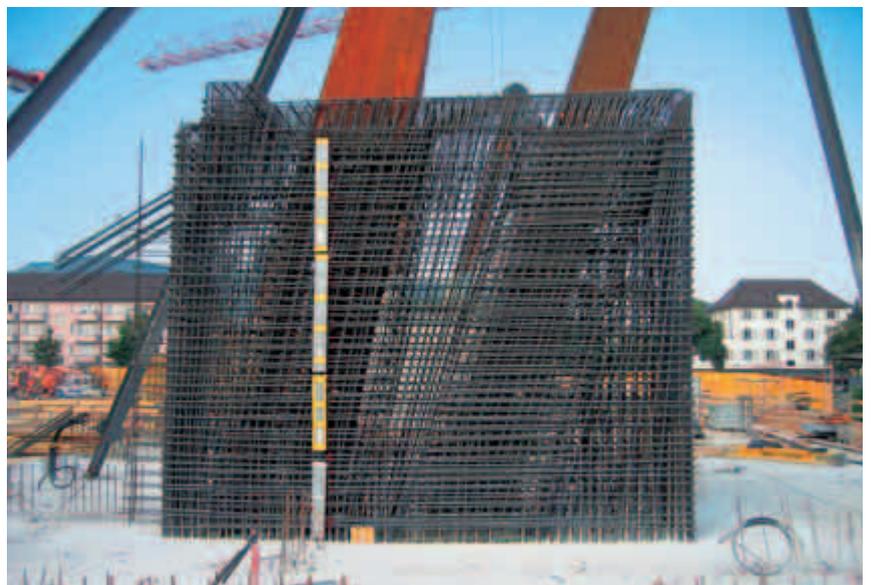
2 Les poteaux tendus ont une largeur de 70 cm en pied et de 41 cm en tête. Le noyau est une section composée de quatre tôles constituant un profil en double té. Douze barres d'armature longitudinales sont disposées autour du noyau. En tête, une attache à œillet est fixée en prolongement du noyau, la liaison avec la poutre étant réalisée par un double tourillon.



Enveloppe et noyau

Etant donné l'asymétrie des porte-à-faux arrière et avant de la toiture, l'un des poteaux de la paire est tendu, l'autre est comprimé. Les poteaux comprimés ont une plus grande section transversale et sont renforcés par une armature longitudinale. En plus, un acier rond plein est placé entre la plaque de tête et l'angle inférieur, reprenant les plus grandes contraintes de compression. Des goujons connecteurs sont soudés sur la face intérieure des parois du caisson pour lier l'acier et le béton et pour éviter le voilement des tôles comprimées. Les poteaux comprimés comportent en outre à l'intérieur les conduites techniques pour l'alimentation électrique et l'évacuation des eaux de la toiture. Les poteaux comprimés ont été, en atelier et en position retournée, remplis de béton dans la partie supérieure et livrés sur le chantier après durcissement du béton. Au moment du montage, le poids d'un poteau pouvait ainsi s'élever à 18 tonnes, concentré dans la moitié supérieure. La moitié inférieure comprenait, quant à elle, la cage d'armature pour l'encastrement du poteau dans la paroi d'appui et était bétonnée dans la fondation seulement après un réglage précis.

Les poteaux tendus comportent un noyau tirant intérieur composé de tôles soudées en forme de double té et de barres d'armature. Des barres longitudinales sont également disposées autour de ce noyau. Les efforts de traction et les efforts normaux agissant dans l'enveloppe des poteaux sont introduits par les goujons et les barres d'armature dans la paroi d'appui. En tête de poteau, un double tourillon de 650 kg lie le poteau tendu avec les poutres de la toiture.





Le défi du montage

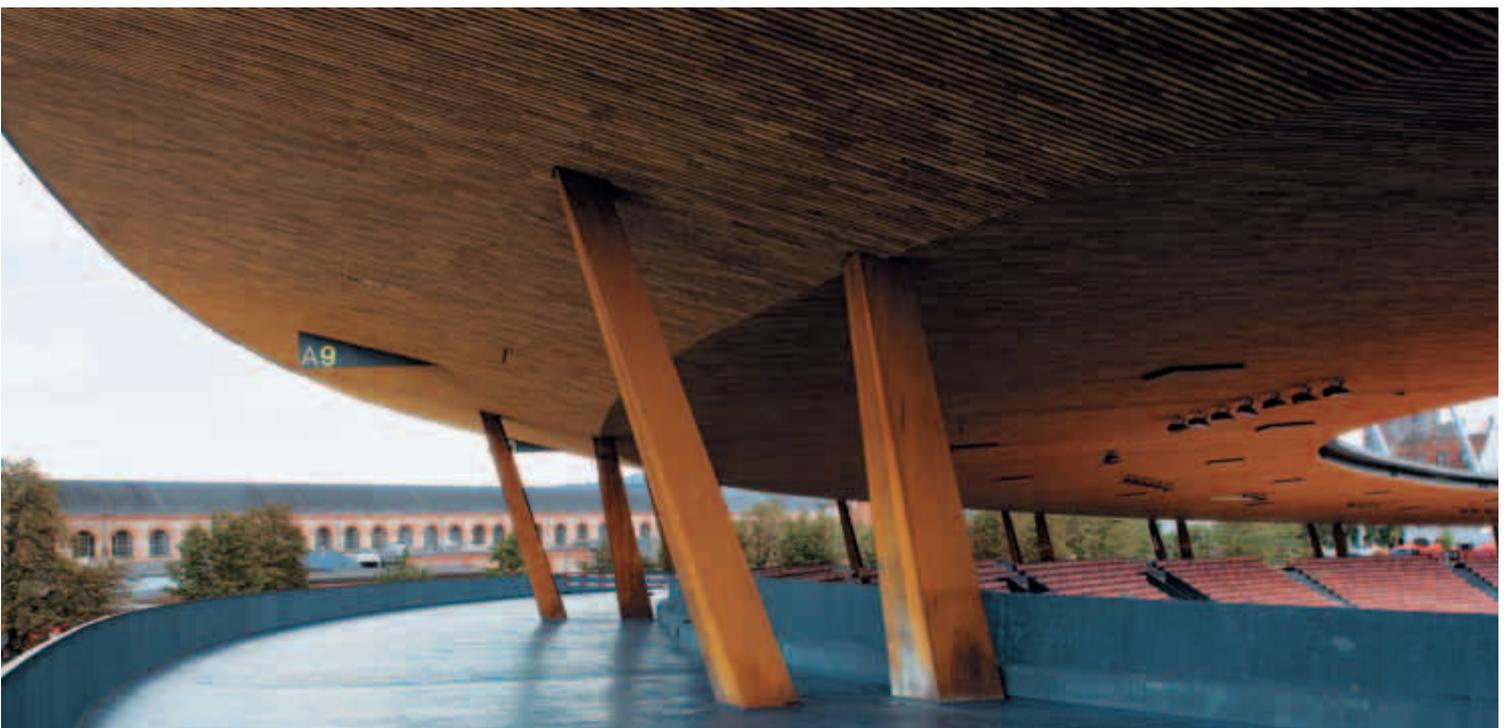
Une condition de base pour la réussite de cette construction en acier extrêmement complexe et exigeante était naturellement un montage particulièrement précis, en particulier celui des poteaux. Car un écart sur la position théorique de la tête des poteaux aurait conduit à un écart dix fois plus important sur la position du bord intérieur de la toiture. Les poteaux ont donc de ce fait été placés en position exacte, grâce à des poteaux provisoires et des gabarits, avant d'être bétonnés dans la fondation. La fabrication des poutres a été réalisée dans deux ateliers provisoires installés à cet effet à proximité du chantier. Pour le transport nocturne des poutres mesurant jusqu'à 40 mètres de long et d'un poids pouvant atteindre 52 tonnes, une structure de roulement spéciale a été imaginée. Grâce à une autogreue hydraulique qui

Les poteaux sont des profils en caisson constitués de tôles fortes soudées et d'un noyau en acier plein. Ils ont été remplis de béton après la pose d'une armature. Dans leur zone visible, ils sont fait d'acier patinable.

permettait une correction de la pente longitudinale de la poutre, les temps de montage réalisés ont été inférieurs à 2 heures par poutre.

Apréciation du jury

Le stade du Letzigrund est le plus important ouvrage en acier construit en Suisse en 2007. Les exigences sévères relatives à l'analyse structurale et à l'exécution de l'ouvrage, dues à la forme complexe de la toiture, ont demandé de la part de tous les intervenants un maximum de créativité et de précision, additionné d'une forte pression sur les coûts et les délais. Le stade témoigne d'une architecture sportive poétique et capable de s'insérer dans l'espace urbain, ainsi que de l'efficacité et du professionnalisme dans la conception et la réalisation.





La hauteur des poutres est variable de 1,10 à 3,45 mètres, pour une longueur entre 29 et 43 mètres. L'épaisseur des tôles varie de 20 à 100 mm. Le poids de l'élément le plus lourd est de 52 tonnes.

Lieu Zurich

Maître de l'ouvrage Ville de Zurich, Gestion du parc immobilier, représenté par: Ville de Zurich, Service des bâtiments

Entreprise totale

Implenia Generalunternehmung AG, Dietlikon

Architectes pour la conception et l'exécution

Bérix & Consolascio Architekten avec Eric Maier, Erlenbach, collaboration: Erwin Gruber

Communauté d'études ARGE Bérix & Consolascio Architekten, Erlenbach; Frei & Ehrensperger Architekten, Zurich;

Walt + Galmarini Ingenieure, Zurich

Ingénieurs de construction métallique

Walt + Galmarini AG, Zurich

Ingénieurs de construction en béton BlessHess AG, Lucerne

Construction métallique et montage

ARGE Baltensperger AG, Höri und Wetter AG, Stetten

Protection contre la corrosion Taufer AG, Klus

Structure de la toiture surface du toit (à l'horizontale)

20'500 m²; structure en acier: 3'500 t; nombre de poteaux et de poutres: 31; poids maximal d'une poutre 52 t; porte-à-faux maximal des poutres 32 t; charge maximale portée par un poteau comprimé: 19'000 kN; traction maximale subie par un poteau tendu: 14'000 kN; sous-toit en bois de robinier à claire-voie: 20'000 m²

Dimensions aire du stade 255 x 260 m; surface 67'000 m²;

espace intérieur: pelouse principale 105 x 68 m; terrain pour courses avec 8 pistes de 400 m; offre de places: athlétisme 26'000 places; concerts 50'000 places; championnat européen de football EURO 2008 31'000 places

Coûts CHF 125,2 millions, dont le stade CHF 110 millions;

investissements supplémentaires pour l'EURO 2008

CHF 11,3 millions; investissements supplémentaires pour

AXPO Super League CHF 3,9 millions

Etude et réalisation mars 2003: 1^{ère} étape du concours

pour le nouveau stade du Letzigrund; mai 2003: 2^e étape du concours;

septembre 2004: étude accélérée; septembre 2004

à mars 2005: plans d'exécution et mise au concours pour

l'entreprise générale; mars 2005: plan d'agencement et crédit

d'exécution; juin 2005: votation populaire; 15 novembre 2005:

premier coup de pioche; 24 août 2007: livraison du stade par

l'entreprise générale Implenia GU AG; durée des travaux: 21 mois

Fin des travaux août 2007

