

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 133 (2007)
Heft: 19: Métal

Artikel: Un stade solidement ancré
Autor: Ulaga, Tomaž
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99611>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Un stade solidement **a n c r é**

Le nouveau stade du Letzigrund à Zurich accueillira diverses manifestations publiques de grande envergure : le « Weltklasse » bien sûr, mais aussi les rencontres de football du FC Zurich ou des concerts. Les exigences fonctionnelles et techniques découlant de ces usages ont poussé les architectes et ingénieurs à faire preuve de créativité. La solution à laquelle ils sont arrivés exprime à la fois puissance et calme, à travers une structure porteuse mariant complexité et simplicité ¹.

Le stade a impliqué l'élaboration de solutions structurelles particulières pour de nombreux éléments. Certains d'entre eux apparaissent de façon évidente et seront directement visibles pour les spectateurs, comme la toiture en porte-à-

faux et ses appuis, ou encore le béton des rampes d'accès aux tribunes. En plus de ces constituants, qui jouent un rôle prépondérant sur l'allure générale du stade, plusieurs éléments porteurs dissimulés ou surtout utiles pour optimiser la construction ont été conçus.

Porte-à-faux en acier de la toiture

La structure porteuse primaire de la toiture comprend 31 poutres en acier réparties sur tout le pourtour du stade selon un espacement de 20 m (fig. 4). Chaque poutre possède un porte-à-faux allant jusqu'à 32 m en direction de l'intérieur de stade (fig. 4). Leur hauteur statique maximale atteint 3,4 m dans la section la plus sollicitée, leur taille allant en se réduisant jusqu'à 1,1 m à l'extrémité intérieure du toit, suivant en cela la diminution des sollicitations. Les ailes ont une largeur constante de 600 mm, alors que leur épaisseur varie entre 20 mm et 100 mm, une variation qui suit elle aussi

¹Ce texte a déjà paru en allemand dans TEC21 33-34, 20 août 2007



Fig. 1 : Montage des premiers porte-à-faux du stade du Letzigrund (Photo Implenia Generalunternehmung AG)

Fig. 2 et 3 : Poutres principales depuis la toiture (Photo JP)



les sollicitations. Le choix de cette géométrie permet d'avoir une section renforcée pour la zone appelée à reprendre les importants efforts de flexion résultant des porte-à-faux (fig. 2 et 3).

Les champs situés entre les porteurs principaux sont remplis par une grille de pannes composée de différents profilés ou de tubes métalliques. Cette grille suit les ailes inférieures des poutres principales auxquelles elle est fixée. Son rôle est multiple, puisqu'elle sert à la fois de support pour les tôles de la toiture, définit les pentes nécessaires à l'écoulement des eaux de pluie, empêche le déversement latéral des poutres principales et sert de contreventement pour la reprise des efforts horizontaux. Des joints de dilation ont été placés tous les trois champs afin de réduire les efforts dans les pannes dus aux variations de température.

Réalisée en acier S355, l'ossature métallique de la toiture est soumise à des sollicitations pouvant générer des déformations très variables. D'un côté, la présence de neige ou un réchauffement excessif de l'aile supérieure des poutres principales risquent de faire s'abaisser leurs extrémités libres qui dessinent le contour intérieur du toit. D'un autre côté, selon leur direction, les rafales de vent risquent aussi bien d'engendrer un affaissement qu'un soulèvement de la structure.

Ces divers mouvements doivent pouvoir se faire sans mettre en danger le revêtement de la toiture, en particulier sa couverture inférieure en bois. L'aspect de cette dernière pourrait en effet souffrir tant des actions directes du vent que des déformations consécutives aux mouvements de l'ossature métallique. On pouvait dès lors craindre que des lames de bois se plient ou se cassent, voire que certains assemblages se rompent.

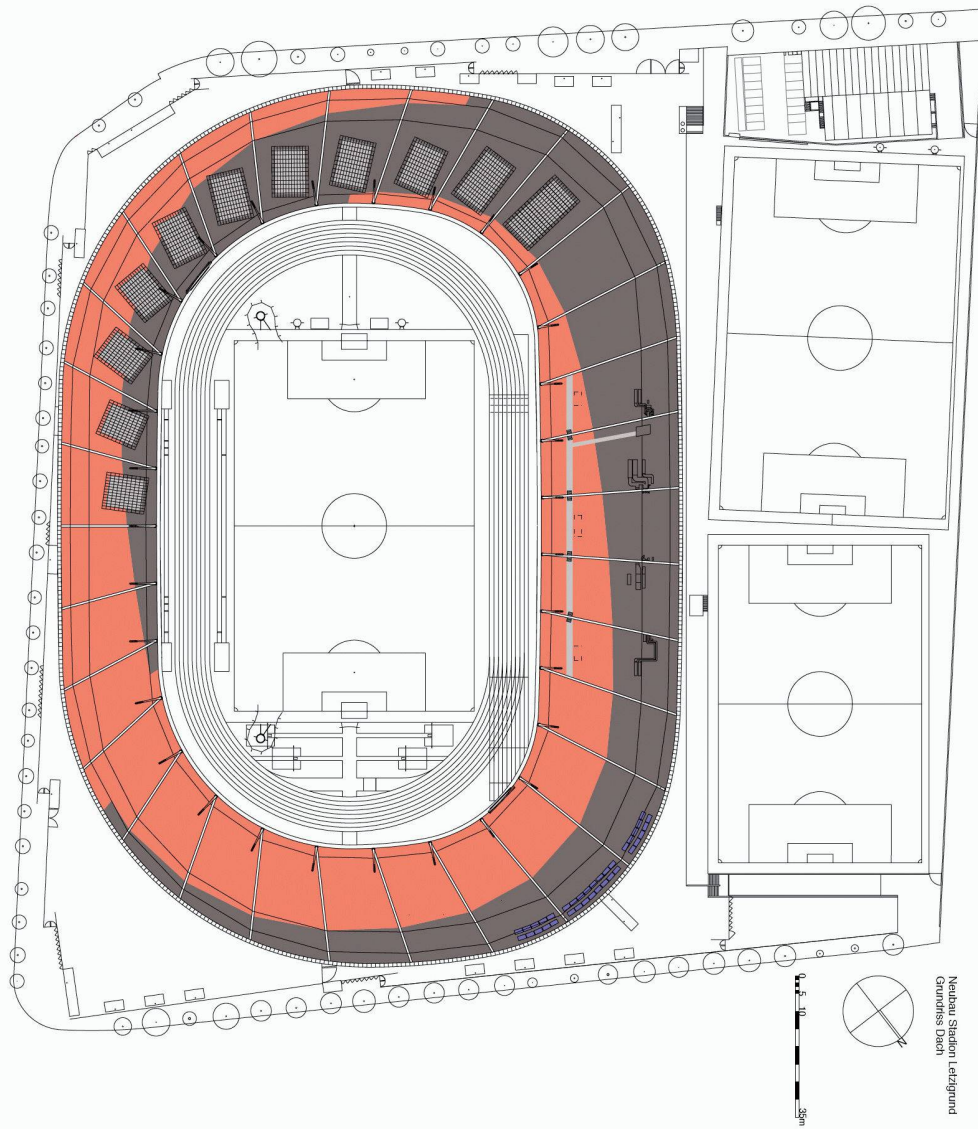
Pour se prémunir contre ces éventuels dégâts, la structure en bois a été conçue comme un système multicouche permettant un découplage des déformations entre ses divers composants. Ce découplage est essentiellement obtenu par l'usage de lattes de support et de lattes de réglage. Les premières lattes en bois reposent librement sur les ailes inférieures des pannes métalliques – désolidarisant ainsi le revêtement du toit de son ossature métallique – alors que les secondes lattes sont quant à elles fixées avec de longues vis garantissant, une flexibilité suffisante entre les deux éléments en bois.

Un couple dansant comme appui

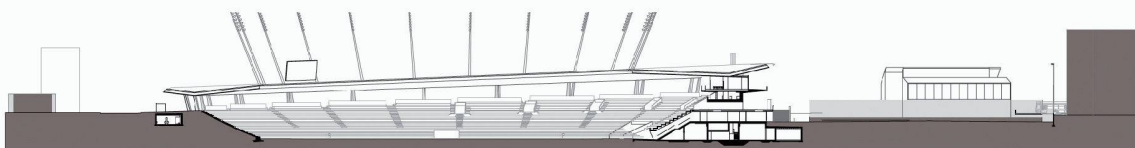
Le dessin en plan de la toiture devait tenir compte de plusieurs exigences. Tout d'abord, si les tribunes destinées au public doivent entièrement être recouvertes par la toiture, ceci doit se faire sans que les poteaux de cette dernière créent

Fig. 4 : Plan d'ensemble de la toiture avec positionnement des poutres principales

Fig. 5 : Coupe transversale du stade (Plans Bétrix & Consolascio Architekten)



4

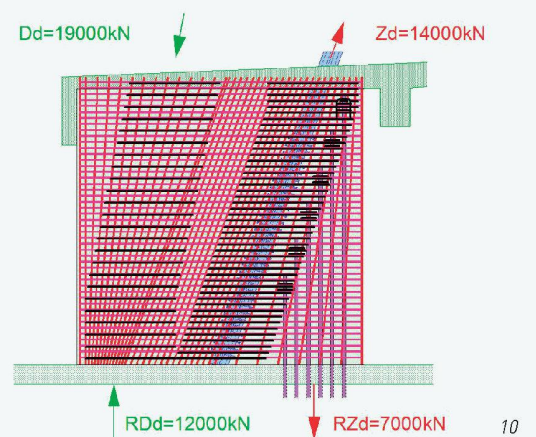
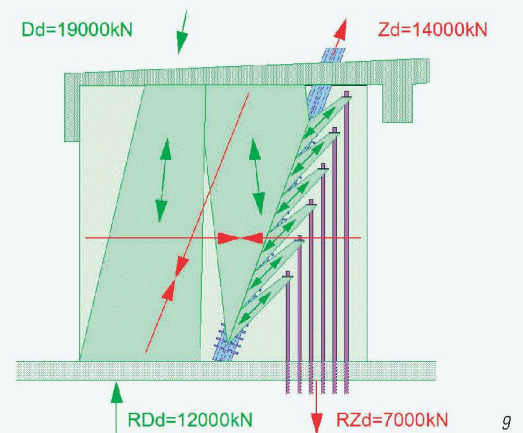
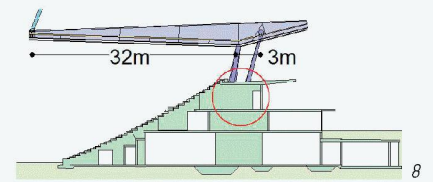
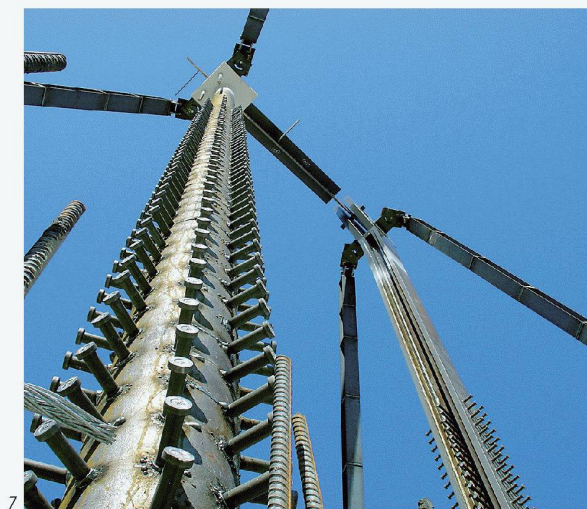
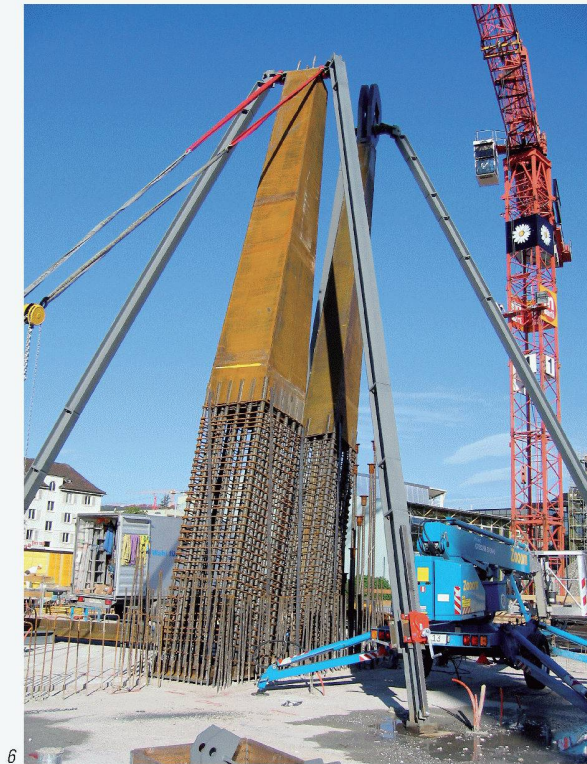


5

Fig. 6 : Liaison entre le revêtement en acier des piliers et les armatures

Fig. 7 : Goujons sur les noyaux métalliques des piliers pour garantir la liaison avec le béton

Fig. 8 à 11 : Fonctionnement des appuis des poutres principales et armatures nécessaires



des obstacles susceptibles de nuire à la vue des spectateurs. De plus, les mats pour l'éclairage, situés à l'extrémité libre des poutres principales, ainsi que les doubles appuis de ces dernières doivent être régulièrement répartis sur tout le pourtour du stade. De son côté, le dessin en plan des tribunes est tributaire de la géométrie du stade d'athlétisme, notamment de l'anneau et de la piste pour le 100 mètres, cette dernière créant une légère dissymétrie selon le plus grand axe du stade. La disposition en plan des éléments visibles du stade se définit toujours perpendiculairement ou tangentielllement aux rangs des tribunes.

Le respect de ces exigences rendait incompatible la superposition en plan des poteaux de la toiture avec le schéma retenu pour la zone des spectateurs. Cette incompatibilité a été résolue par un artifice consistant à « biaiser » certaines poutres devant soutenir la toiture, de façon à obtenir des espacements constants des deux extrémités. Par suite, et afin d'assurer leur intégration dans le schéma des tribunes, les doubles piliers servant d'appui aux poutres ont été pour ainsi dire « tordus ». Cette élégante solution confère à chaque paire de montants des allures de couples dansants, chacun d'entre eux présentant par ailleurs une géométrie propre (fig. 15 et 16).

Chaque double appui fonctionne comme un couple de forces opposées garantissant le support d'un porte-à-faux (fig. 8 à 11). Fixé du côté opposé de ce dernier, le pilier tendu subit un effort de traction de 14 000 kN alors que son compère se voit quant à lui comprimé par une force de 19 000 kN. La tête du pilier comprimé comprend une calotte cylindrique en acier sur laquelle s'appuient les poutres, la liaison verticale ne fonctionnant que dans une direction. En cas d'inversion des efforts (par exemple sous l'effet de fortes rafales de vent), le soulèvement de la toiture est empêché par deux barres métalliques.

La fixation de la barre servant de tirant avec la poutre s'effectue quant à elle à l'aide d'un boulon passant dans une goupille en forme d'oeil (fig. 14). La forme exacte de l'ouverture de la goupille a été optimisée par le biais d'une analyse tridimensionnelle aux éléments finis. Afin d'éviter d'avoir des contraintes excessives dans les angles des trous, leurs coins ont été arrondis par des percements circulaires (fig. 13).

Si la liaison entre les poutres principales et les piliers doit être à même de supporter aussi bien des sollicitations statiques que dynamiques, elle a en outre été conçue pour rendre aussi efficace que possible le montage sur le chantier. Les poutres principales ont en effet été entièrement fabriquées en atelier, de façon à pouvoir

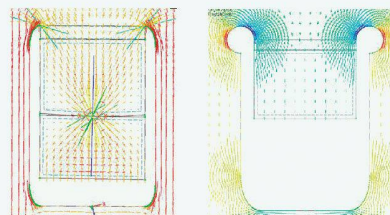
Fig. 12 : Vue générale de la face ouest en direction de la courbe nord : porte-à-faux de la toiture et de la rampe d'accès

Fig. 13 : Effet de l'arrondissement des angles des trous pour la fixation des tirants

Fig. 14 : Fixation du tirant d'appui d'une poutre principale



12



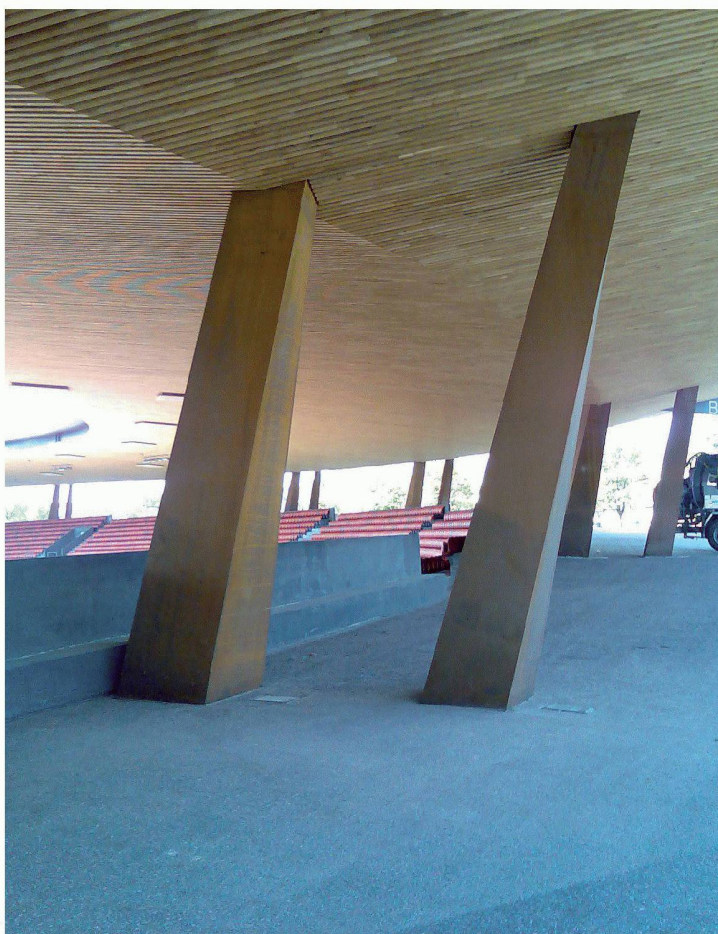
13



14

être directement posées sur le pilier comprimé avec une grue. Leur fixation définitive était ensuite assurée par la mise en place du boulon dans la goupille du tirant. Une fois la poutre livrée sur le chantier, son montage a pu être effectué en moins d'une heure, sans avoir recours à des installations particulières.

De par leur géométrie et les divers cas de charge – forte intensité des réactions d'appui des poutres principales, efforts dus au vent et prise en compte des séismes – les deux piliers des appuis subissent de très fortes sollicitations combinant efforts normaux et moments de flexion. L'intérieur des piliers comprend un corps de béton armé avec un noyau en acier d'un diamètre allant jusqu'à 220 mm. La paroi extérieure des piliers est faite de tôles d'acier résistant aux intempéries et dont l'épaisseur varie entre 15 et 20 mm. Les faces intérieures de ces tôles sont en outre munies de goujons destinés à assurer leur solidarité avec le noyau en béton des appuis.



15

Ancrage des éléments en acier dans le béton

Chaque paire de piliers est scellée dans un mur qui leur sert d'appui. L'importance des forces à introduire dans ces murs a rendu nécessaire une conception très attentive des détails de construction (fig. 10 et 11). Chacun des murs mesure environ 5 m de longueur pour quelque 1,8 m de largeur. Le béton assure l'essentiel de la reprise des efforts de compression alors que la résistance à la traction provient de barres d'acier dont les extrémités sont fixées sur des plaques. Le bon fonctionnement des murs nécessite en outre la mise en place d'une forte armature de frettage destinée à éviter l'éclatement du béton.

Le noyau métallique du tirant se prolonge vers le bas de près de 4 m pour s'ancrer dans les murs. Ce prolongement comprend quelque 200 goujons chargés d'assurer la qualité de la liaison avec le béton. L'enveloppe métallique des tirants est fixée à des barres d'armature qui participent aussi à l'ancrage sur toute la longueur des 4 m de prolongement du noyau dans les murs (fig. 6). Dans quelques cas, l'appui comprimé comprend un même noyau pour son ancrage dans les murs (fig. 7). La force de compression du pilier repose sur une plaque métallique fixée sur le noyau alors que les efforts de flexion sont repris par des armatures.

Construction en béton

La conception de la rampe extérieure d'accès autour du stade et des gradins des tribunes font parties des spécificités de la construction en béton armé. Cette rampe est une dalle en porte-à-faux montant progressivement du niveau du terrain naturel – au milieu de la tribune sud – pour atteindre un point culminant devant l'entrée du restaurant – côté ouest – pour ensuite redescendre symétriquement vers la courbe nord (fig. 12). Les porte-à-faux, dont la longueur libre varie de 4,5 m dans les courbes sud et nord jusqu'à une portée maximale de 7,5 m devant l'entrée du restaurant, ont un élanement inférieur à 10 %. Les charges critiques pour le dimensionnement tenaient compte de la foule et de ses mouvements (charge dynamique) ainsi que de la circulation de véhicules de sauvetage. La résistance et la rigidité nécessaires ont été obtenues par le biais de câbles de précontrainte fournissant chacun un effort 1000 kN. Ces câbles sont espacés de 1,8 m dans les deux courbes et de 1,2 m dans la zone rectiligne devant le restaurant.

Cette rampe constitue une unité monolithique d'une longueur totale de 350 m. Pour des questions d'esthétique et d'entretien, elle ne comprend pas de joint de dilatation. On a admis que le retrait du béton ou les variations de température puissent conduire à l'apparition de fissures. Calculée

Fig. 16 : Face inférieure en bois de la toiture et gradins en béton avant la pose des sièges (Photo Yves André)



Fig. 16 : Vue générale de l'intérieur du stade avec la symétrie entre la toiture et la piste d'athlétisme (Photo JP)

(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par l'auteurs.)

à l'aide d'un modèle simple pour l'estimation des fissures, l'armature est telle que l'espacement des fissures soit faible et que leur ouverture reste inférieure à 0.2 mm. La taille et la répartition de ces fissures font que ces dernières doivent pouvoir être dissimulées par le revêtement de la rampe et par le crépi recouvrant sa face inférieure.

Contrairement à la rampe, les gradins des tribunes sont séparés par des joints. Les étapes de bétonnage avaient une longueur maximale de 3,5 m afin de prévenir les effets du retrait. Le contact entre deux étapes voisines a lieu par le biais d'un joint bitumineux très discret, qui s'ouvre sur une largeur telle que la dilatation des tribunes puisse se faire librement. Plus de la moitié des tribunes est construite avec du béton qui repose directement sur le remblai en terre. Ce système, qui exploite un report direct des charges sur le terrain, permet de se passer d'armature.

Béton local

Le Letzigrund (fig. 17) est situé dans les dépôts glacières de la vallée de la Limmat : le sol sur lequel il repose se compose principalement de gravier rond, ce qui permet de réaliser des fondations superficielles avec des pressions de contact élevées. Si les matériaux excavés peuvent sans autre être utilisés comme remblai, ils peuvent aussi servir d'agréats à béton. Pour la réalisation du stade, les graviers ont été triés puis re-mélangés sur place, pour en faire directement béton. La préparation du béton s'est donc faite sur le site, économisant de la sorte de nombreux déplacements de camions, tant pour la livraison que pour l'évacuation des matériaux.

Tomaž Ulaga, dr ing. dipl. EPF
Walt+Galmarini AG, Englischviertelstr. 24
CH – 8032 Zürich

Traduction Jacques Perret

