

03/16 steeldoc

Métal digital



Un auvent métallique bien pensé

Maître de l'ouvrage

Messe Frankfurt Venue GmbH

Architectes

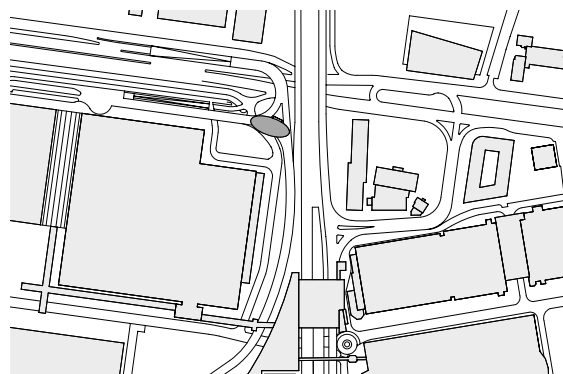
Ingo Schrader Architekt, Berlin

Ingénieurs

Bollinger+Grohmann Ingenieure, Francfort

Année de réalisation

2013



Situation, échelle 1:8000

Un auvent en acier à l'ovale parfait capte le regard à l'entrée du parc des expositions de Francfort. Sa conception a été optimisée au moyen d'outils paramétriques.

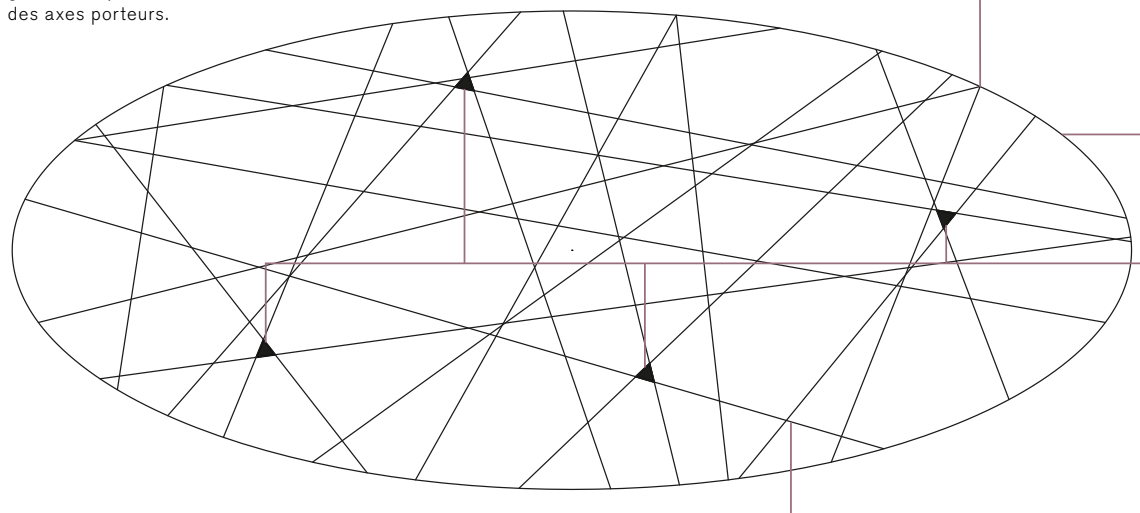
Mesurée à ses surfaces d'exposition, la ville de Francfort est la deuxième place mondiale pour l'accueil de salons professionnels. L'auvent protégeant la Porte nord du parc des expositions se devait donc de tenir son rang. Cette entrée, située sur un pont en béton ouvert à la circulation, se voyait par ailleurs dotée d'un poste de garde.

Imposés par la structure existante, les quatre poteaux soutenant l'auvent – leur implantation surtout – constituaient une des données-clés du projet : deux des poteaux s'appuient sur les piles du pont, auxquelles ils transfèrent les charges, tandis que les deux autres sont placés à l'extérieur de la voie de circulation. La forme de l'auvent – ovale –

s'est imposée d'elle-même : elle résulte de l'implantation prévue du bâtiment de service et de l'espace d'évolution du personnel à l'avant de celui-ci.

La difficulté a résidé dans la conception d'une structure porteuse qui soit compatible avec la forme particulière de l'auvent et l'implantation dissymétrique des poteaux. A l'origine, deux autres auvents, l'un rond, l'autre rectangulaire, étaient prévus à deux autres emplacements, de sorte que le système de construction développé devait pouvoir s'adapter à des formes d'auvents et des points d'appui différents. Recourir à une trame traditionnelle n'était donc pas possible.

Utilisation d'un algorithme de génération pour l'insertion des axes porteurs.



Deuxième ensemble de membrures implantées à partir de deux points d'extrémité choisis aléatoirement sur le contour de l'auvent.

Auvent métallique de forme ovale, 42 m x 18 m

Position des poteaux

Disposition du premier ensemble de profils porteurs, déterminée par la position des poteaux.



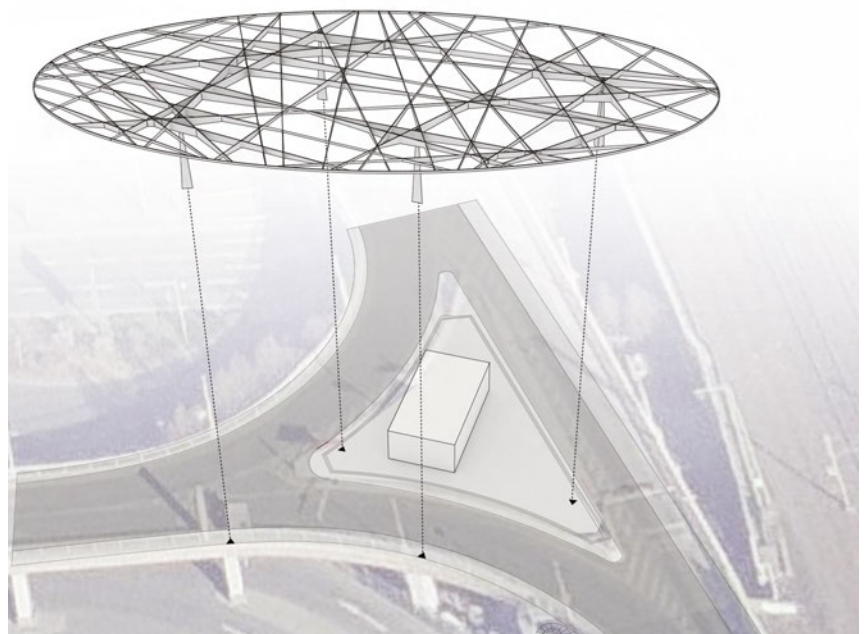
Les plats de hauteurs différentes animent la sous-face de l'auvent.

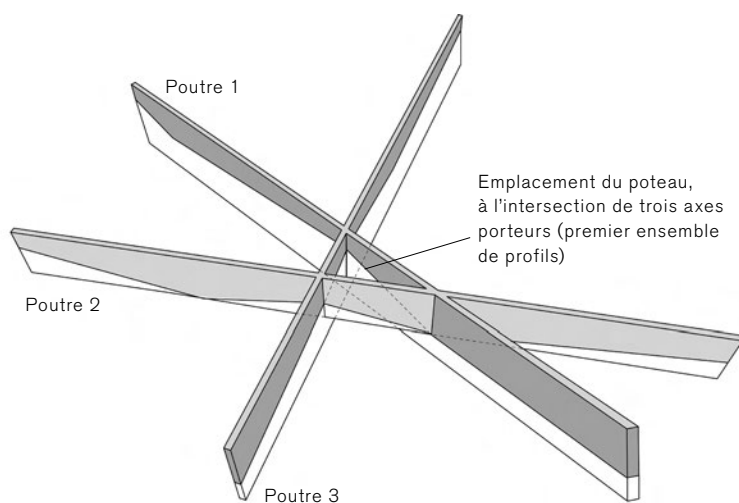
Les efforts sont reportés dans la structure porteuse en place par des appuis ponctuels.

Une conception paramétrique pour l'optimisation de la structure

Pour cet auvent, le bureau d'études a conçu une structure porteuse non hiérarchisée: il s'agit d'un ensemble de plats en acier, posés de chant, concourant selon des axes non orthogonaux.

Un algorithme permettant de faire varier des paramètres géométriques, structuraux et constructifs a été utilisé et plusieurs variantes ont été étudiées. Un script de conception paramétrique a été associé à un outil de calcul pour, dans un premier temps, optimiser la position des plats, puis leur hauteur et leur épaisseur, en fonction des lignes de force.



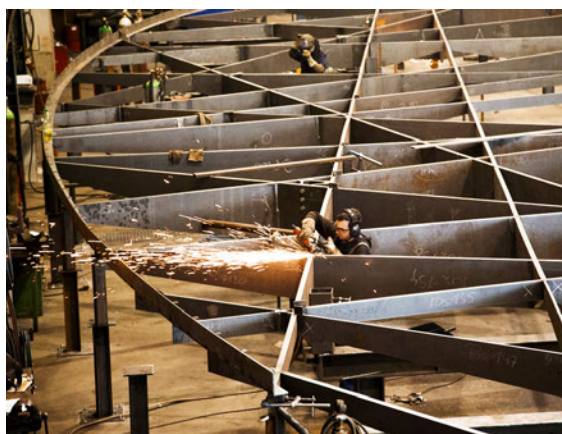


Pour obtenir une surface supérieure plane, les hauteurs des plats ont été modulées vers le bas pour économiser poids et matière.

La disposition des premiers plats a été déterminée, dans le calcul paramétrique, par la position asymétrique des quatre poteaux de section triangulaire: les têtes de ces derniers – qui s'affinent vers le haut – correspondent au triangle formé à chaque fois par l'intersection de trois plats filants. Compte tenu de la portée entre poteaux et de la longueur du porte-à-faux, qui atteint jusqu'à dix mètres, des membrures complémentaires étaient nécessaires. Différentes variantes ont été étudiées, pour différentes dispositions des membrures. Les ingénieurs ont utilisé pour cela un algorithme écrit en RhinoScript. Deux points choisis aléatoirement le long du contour de l'auvent formaient à chaque fois les extrémités d'un nouvel axe porteur. Un paramètre important pour l'optimisation était la

minimisation du nombre d'intersections selon un angle inférieur à 50 degrés, problématiques du point de vue constructif. Les autres paramètres importants étaient la hauteur maximale des plats – 60 centimètres –, la hauteur minimale de l'auvent – 15 centimètres –, et le fait qu'à leur intersection, les plats devaient avoir la même hauteur. La flèche maximale de la structure a également été prise en compte dans l'analyse; la valeur calculée sous charges variables est de l'ordre de 50 millimètres à l'extrémité du porte-à-faux. Pour le poids propre, la hauteur de la construction a été majorée. L'épaisseur des plats, variable, est comprise entre 20 et 40 millimètres.

L'approche paramétrique, avec l'utilisation d'un algorithme structural, a également permis de réduire le poids au maximum. Les ingénieurs ont utilisé un script en Visual Basic dans Excel, pour faire le lien entre la forme fournie en langage Rhinoceros et un logiciel d'éléments finis. L'optimisation de la structure a été possible grâce à l'algorithme utilisé, qui reproduit mathématiquement les processus de croissance des organismes biologiques. Les sections transversales des plats en acier ont ainsi été réduites progressivement. Les charges à prendre en considération étaient la charge de neige, avec $0,65 \text{ kN/m}^2$, la pression et la dépression dues au vent, avec une valeur maximale $w = 0,2 \text{ kN/m}^2$ sur l'ensemble de la surface et $w = 1,1 \text{ kN/m}^2$ localement, et le poids propre de la charpente et de la couverture. Les contraintes générées étaient déterminantes pour le dimensionnement: les zones à fortes concentrations de contraintes ont été renforcées, tandis que celles moins sollicitées pouvaient être plus fines. Chaque plat est par conséquent différent, à la fois en hauteur et en épaisseur, en fonction des exigences de la statique, et son profil modulé en conséquence.



L'auvent a été préfabriqué en atelier, en sept éléments. Une fois les éléments assemblés sur le chantier, l'ensemble a été peint puis levé et mis en place.



Dans bon nombre de cas, la vérification de la flèche a été déterminante. En règle générale, la contrainte est inférieure à 50–60 % de la contrainte admissible selon la norme. Les plats devant avoir la même hauteur aux nœuds, celle-ci est donc déterminée par le plat dont le taux d'utilisation est le plus élevé. Le dimensionnement de l'auvent a nécessité de procéder par itérations. A chaque fois qu'une ligne de force se trouvait décalée, les sollicitations dans toute la structure devaient être recalculées.

Un haut degré de préfabrication

La structure métallique a été entièrement préfabriquée afin de minimiser les délais d'installation, le fonctionnement du site continuant à être assuré normalement. L'assemblage a été effectué au sol en atelier. Les plats ont été soit grugés sur la moitié de leur hauteur et emboîtés entre eux (plats filants), soit assemblés sur toute leur hauteur (plats butant sur un autre plat). La structure a été décomposée en sept morceaux, transportés jusqu'à l'avant du site d'implantation définitif, où ils ont été assemblés par soudage. La dernière étape a consisté dans la mise en œuvre de la couverture, en bois lamellé de placage, et de la membrane d'étanchéité, puis l'auvent a été soulevé et posé sur les quatre poteaux à l'aide de deux grues mobiles.

Un auvent ubiquiste

La conception paramétrique a permis de développer un concept qui peut, selon les besoins, être adapté à des auvents de géométries différentes et avec des points d'appui asymétriques. Si l'auvent conçu par les ingénieurs peut donc être réutilisé indifféremment sur d'autres sites, ceux-ci n'en sont pas moins parvenus à créer un système avec une forte identité.

Projet Parc des expositions de Francfort, porte nord

Lieu Francfort-sur-le-Main

Maître de l'ouvrage Messe Frankfurt Venue GmbH

Architectes Ingo Schrader Architekt, Berlin

Ingénieurs Bollinger + Grohmann Ingenieure, Francfort (conception numérique et conception de la structure)

Conception lumière Licht Kunst Licht AG, Berlin

Construction métallique Prebeck GmbH, Bogen

Nuance d'acier S355 J0

Tonnage 75 t acier, poids total env. 110 t

Dimensions surface de l'auvent 593 m², hauteur libre 4,55 m, hauteur au-dessus de la voie 5,30 m

Côût env. 1,2 mio EUR

Durée des travaux 3 mois

Achèvement août 2013 (levage auvent)

Outils numériques pour la conception RhinoScript, avec implémentation d'un algorithme de génération des axes porteurs, Dlubal Rstab (FEM), script VBA dans Excel, algorithme de CAO

Le prisme rouge du poste de garde contraste de manière radicale, tant par sa forme que par sa couleur, avec l'ovale et la blancheur de l'auvent.

Impressum

steeldoc 03/16, septembre 2016
Métal digital

Editeur:
SZS Centre suisse de la construction métallique, Zurich
Patric Fischli-Boson

Redaction et textes:
espazium – Les éditions pour la culture du bâti, Zurich
Judit Solt
Dr. Viola John, p. 20–26
Philippe Morel, p. 12–15
Christof Rostert

Johannes Herold, p. 4–11
Cornelia Froidevaux, p. 16–19

Traduction française:
Chantal Pradines

Mise en page:
Anna-Lena Walther, Stämpfli AG

Textes basés sur les informations des concepteurs.
Les informations et les plans ont été fournis par
les bureaux d'études. Dessins retravaillés par
Martina Helzel, circa drei, München.
Plans de terrain p. 12: Swiss Topo

Photos:
Titre: Ronald Tillman
p. 4, 5, 8 en bas, 9, 11: Hufton + Crow
p. 7: Maarten Meuleman
p. 13 et 15: DMK Architecture Photography /
Adrien Barakat
p. 3, 16–17: KPMG, Groven
p. 18: Valentiny Architectes
p. 21: Messe Frankfurt / Ingo Bach
p. 22: Ingo Schrader / Bollinger + Grohmann
p. 23: Ingo Schrader
p. 24–26: Bollinger + Grohmann

Conception graphique:
Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich

Impression:
Stämpfli SA, Berne

ISSN 0255-3104

Abonnement annuel CHF 60.– / étranger CHF 90.–
Numéros isolés CHF 18.– / doubles numéros CHF 30.–
Sous réserve de changement de prix. A commander sur
www.steeldoc.ch

Construire en acier/steeldoc© est la documentation d'architecture du Centre suisse de la construction métallique et paraît quatre fois par an en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent l'abonnement ainsi que les informations techniques du SZS gratuitement.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. Une reproduction et la traduction même partielle de cette édition n'est autorisée qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication de la source.

**Abonnement annuel à steeldoc pour CHF 60.–
(étudiants gratuit) sur www.steeldoc.ch**