

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 136 (2010)
Heft: 12: Formes du béton

Artikel: Des charges en promenade
Autor: Ros, Nico
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-109680>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.12.2024

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

Des charges en promenade

Signée Herzog & de Meuron, la nouvelle Maison Vitra complète depuis peu le parc d'architectures du campus du même nom, une enceinte mi-usine, mi-musée située à Weil am Rhein, près de Bâle. Voilà une douzaine de volumes en béton empilés, avec de grandes ouvertures vitrées. Les ingénieurs civils du bureau ZPF Ingenieure AG les considèrent comme des tubes : des volumes stables qui transmettent les charges de manière imperceptible.

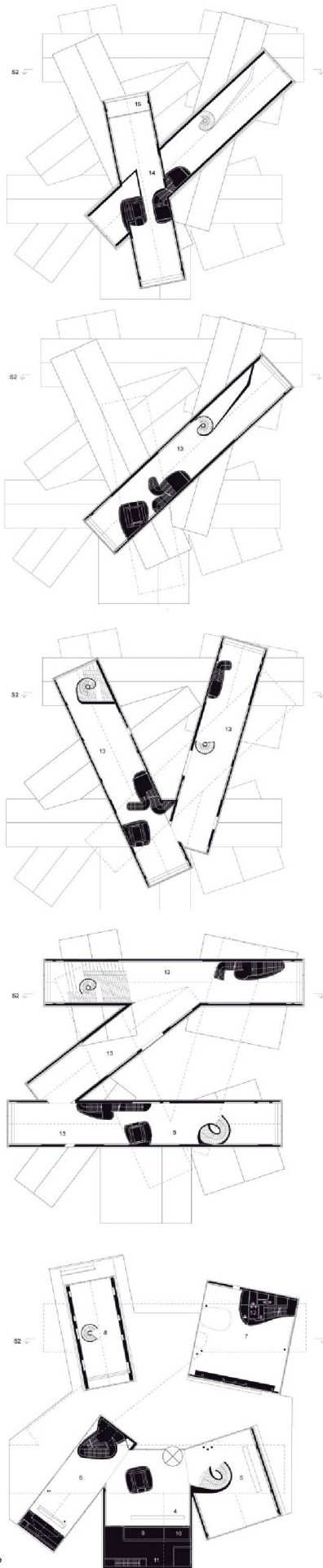
Jusqu'ici, le Vitra Campus à Weil am Rhein (D) n'offrait pas d'espace pour la présentation de mobilier design. Voilà pourquoi les architectes bâlois Herzog & de Meuron ont reçu

le mandat, en 2006, de concevoir la Maison Vitra, un nouveau bâtiment devant compléter un site qui, au fil des ans, est devenu un véritable parc d'objets architecturaux réalisés par les stars du domaine. Implantée côté nord, au milieu des prés-vergers situés à proximité de l'enceinte des unités de production, la nouvelle Maison est érigée dans le voisinage du Vitra Design Museum de Frank Gehry (1989) et du Pavillon de Conférence de Tadao Ando (1993).

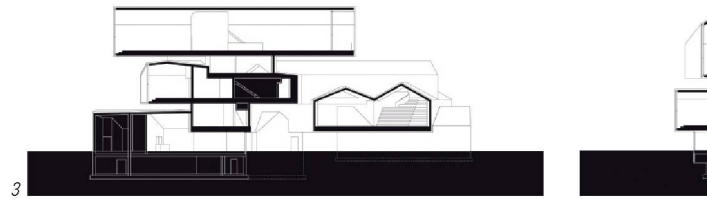
Porter comme des tubes

La structure porteuse de la Maison Vitra est composée de sept corps de bâtiment poutres (en forme de maisons à deux pans) qui sont empilés sur cinq autres volumes qui





2



3

constituent le rez-de-chaussée (fig. 2 et 3). Vu de l'extérieur, les volumes empilés – dont certains font jusqu'à 50 m de long – ressemblent à des poutres continues. En réalité ils se chevauchent, et de grands espaces de formes diverses s'ouvrent à leurs intersections. L'image des poutres continues est donc une illusion. De plus, ces intersections sont irrégulières et certaines d'entre elles présentent des coupes biaisées. Comme les charges doivent circuler au sein de certaines de ces sections, le calcul statique devient hautement complexe. La problématique a mis les concepteurs devant le défi suivant : comment construire des espaces avec des poutres qui se croisent ? Les ingénieurs civils de ZPF Ingenieure AG à Bâle ont analysé toutes les intersections les unes après les autres, afin de trouver des solutions spécifiques pour chaque volume et d'élaborer les détails constructifs qui y correspondent.

Suivre le cheminement des charges

Dès la phase initiale du projet, les ingénieurs ont admis que cette structure porteuse complexe ne pouvait fonctionner que si l'on considère que chacune des intersections correspond à la coupe d'un tube dont les parois seraient le toit (à deux pans), les deux parois et le plancher. Un tube se caractérise par sa grande stabilité, ce qui permet en l'occurrence de garantir une reprise élégante du flux des forces en jeu. Grâce à cette approche, il a été possible de réaliser les porte-à-faux, les franchissements et les croisements des différents corps de bâtiment voulus par les architectes.

Dans un second temps, les ingénieurs ont procédé à une comparaison des matériaux. Ils ont étudié plusieurs variantes de structures porteuses en acier, en béton ou en bois. La décision en faveur du béton s'explique par les caractéristiques de ce matériau : le béton est coulé, il est donc à même de prendre presque n'importe quelle forme. L'acier et le bois sont utilisés en général pour des structures porteuses linéaires, et une construction en tubes est plus facilement réalisable en béton. En l'occurrence, on a pour ainsi dire coulé le béton en fonction des charges.

Flux efficace ou tour de force

La transmission des efforts s'effectue de manière pyramidale, à travers les intersections entre les corps de bâtiments qui résistent comme des tuyaux. Le premier étage repose sur cinq volumes, le deuxième sur trois, le troisième plus que sur deux et le quatrième sur un seul (fig. 4). C'est uniquement par le biais de la cage d'ascenseur que tous les étages sont reliés entre eux. On crée ainsi une « belle » structure statique, puisque les charges verticales et horizontales, qui

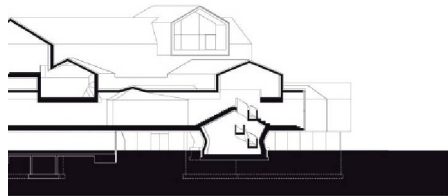


Fig. 1 : La Maison Vitra en construction (Photo PERI GmbH)

Fig. 2 : Plans des cinq niveaux (de bas en haut) (Document Herzog & de Meuron)

Fig. 3 : Coupes (Document Herzog & de Meuron)

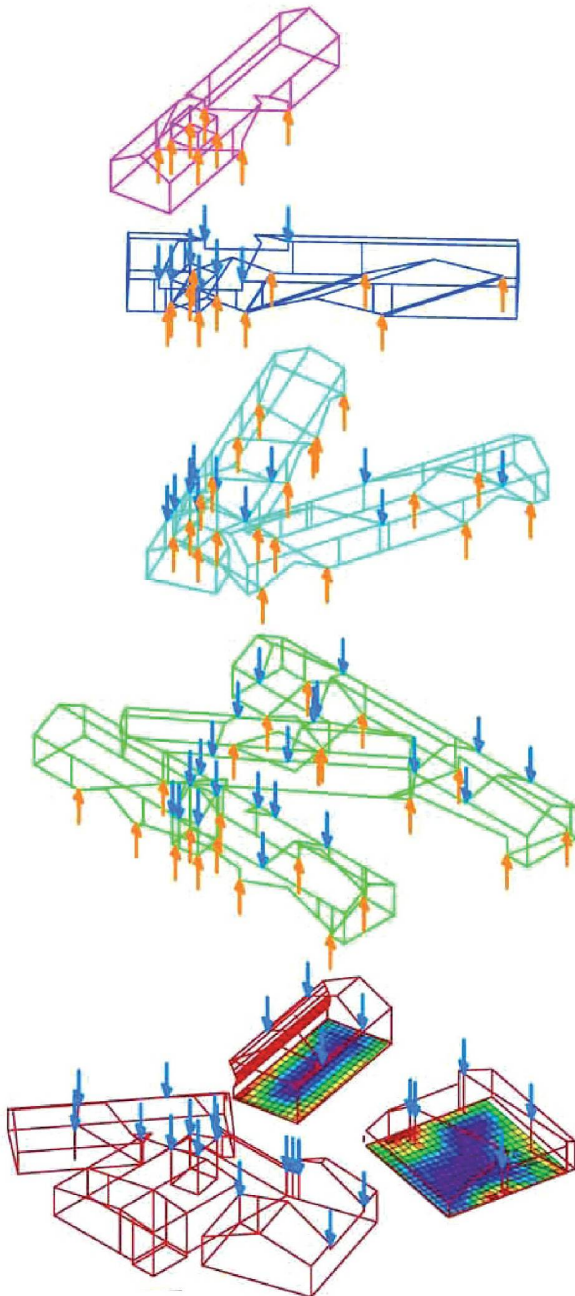
Fig. 4 : De haut en bas, les charges se répartissent sur un nombre croissant d'intersections de murs porteurs en béton. (Document ZPF Ingenieure)

augmentent au fur et à mesure qu'on s'approche du sol, se répartissent sur un nombre croissant d'intersections de murs porteurs en béton. En cas de tremblement de terre, la rigidité horizontale est assurée par les intersections des corps de bâtiment avec la cage d'ascenseur.

Le sol, les parois et le toit de chaque tube sont reliés de manière rigide. Les sols sont constitués par des dalles en béton de 26 cm d'épaisseur (C30/37, XC1, D_{max} 32, CL0.10, C3) alors que les murs extérieurs, d'une épaisseur de 25 cm, sont fixés sur le sol et sur le toit. En raison de la hauteur des murs (3,7 à 4,6 m), qui devaient être coulés d'un seul tenant, il a parfois fallu assurer la mise en place du béton en faisant vibrer les panneaux de coffrage depuis l'extérieur. En règle générale, cependant, le béton a été vibré de manière conventionnelle (C30/37, XC1, D_{max} 16, CL0.10, C3). Les toits à deux pans sont composés de dalles plates et ont une portée maximale de 8,8 m, pour une épaisseur de 26 à 30 cm. Compte tenu du fait qu'elles contiennent des installations de chauffage, ces dalles n'ont pas pu être précontraintes par manque de place pour les câbles. Les toits qui présentent une inclinaison de 30° ont été bétonnés sans contre-coffrage. En revanche, cette solution n'a pas pu être retenue pour le toit du troisième étage (inclinaison de 42°), pour lequel on a mis en place un contre-coffrage. Il fallait également ajouter du fluidifiant (C30/37, XC1, D_{max} 16, CL0.10).

Les tubes – avec des porte-à-faux jusqu'à 15,4 m et des hauteurs de 5,8 à 8,3 m – sont eux aussi reliés de manière rigide. Quelques zones dans les transitions entre les étages ou à d'autres endroits très sollicités ont imposé une augmentation locale de l'épaisseur des murs (40 à 45 cm), et la conception de détails constructifs particuliers qui garantissent la transmission des charges. C'est par exemple ce qui s'est produit pour le cas illustré à la figure 9, lorsque trois volumes reposent sur deux murs concaves situés au rez-de-chaussée. Afin de pouvoir absorber l'énorme compression qui résulte de la reprise des charges, les murs ont été munis d'une armature de compression (fig. 10). Ailleurs, il y a un volume en porte-à-faux qui est suspendu à une autre partie du bâtiment, une paroi de 70 tonnes qui est accrochée au toit d'un autre volume, ou les charges d'un toit qui sont transmises au toit à travers le sol du volume au-dessus.

Chacun des éléments porteurs qui constituent les tubes remplit plusieurs fonctions statiques : parois, sols et toits reprennent indistinctement des charges verticales et horizontales. La répartition statique des efforts horizontaux et verticaux reste floue et on tend vers un fonctionnement en voile des parois des tubes. La reprise des charges ne fonctionne que parce que les divers élé-



4

Fig. 5 et 6 : Complexité de l'étaisage pendant la phase de construction

Fig. 7 : Vues du chantier

(Photos ZPF Ingenieure)



ments porteurs sont considérés, en matière de système statique, comme faisant partie d'un tout. Avec comme conséquence qu'une modification de la rigidité d'une partie du bâtiment peut avoir des effets sur la répartition des charges dans l'ensemble des éléments porteurs. Un des défis pour les ingénieurs était donc de pouvoir prédire de manière réaliste les conséquences de différentes transformations du système et de prévoir des contre-mesures efficaces.

Un bâtiment qui bouge

Il était possible de calculer et donc d'anticiper les oscillations du bâtiment à l'état de service. Les oscillations des divers corps du bâtiment ont été étudiées en détail dès le début du projet, dans le cadre des calculs sismiques effectués par les ingénieurs. On a pu constater que les périodes d'oscillation verticale de certains des porte-à-faux se situaient dans des valeurs critiques – avec des fréquences propres suscitées par la simple présence de personnes comprise entre





8

1,6 et 4,5 Hz. Il a fallu veiller à ce que les futurs usagers ne perçoivent pas de mouvements désagréables. Pour s'en prémunir, les ingénieurs ont simulé, à l'aide d'un programme basé sur la méthode des éléments finis (FEM), la réponse dynamique du bâtiment pour le cas où plusieurs personnes sautilleraient simultanément selon la fréquence propre de la partie du bâtiment concernée. Les ingénieurs ont pu démontrer que si des accélérations peuvent être perçues, elles se situeront en dessous du seuil des valeurs gênantes.

Soutien pendant la construction

Les volumes définis par les poutres des quatre étages se traversent de biais et selon des angles différents, générant de la sorte des formes de toitures irrégulières, des intersections inhabituelles et des espaces inattendus. Le coffrage sur plusieurs niveaux de même que la mise en place de l'étagage nécessaire sur des surfaces de support irrégulières se sont révélés complexes (fig. 7). Afin de garantir un déroulement régulier des travaux, les ingénieurs ont établi un plan détaillé pour les étapes de bétonnage et d'étagage. De façon générale, on commençait par bétonner les sols et les murs de chaque étage, puis les toits de l'étage précédent. Cette façon de faire évitait de devoir procéder à une adaptation compliquée du coffrage des murs aux toits, ces derniers pouvant être simplement bétonnés contre les murs déjà réalisés.

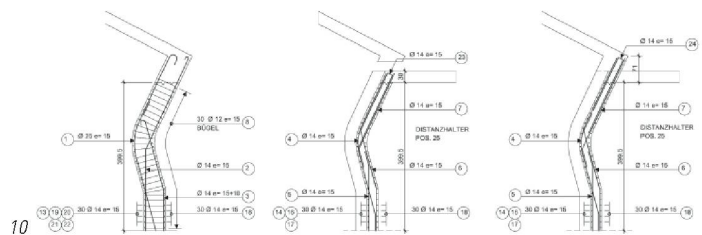
Puisque le fonctionnement statique de l'ensemble du bâtiment dépendait fortement de l'interaction entre les éléments qui le composent, et que peu de ces éléments ont pu être analysés de manière isolée, il a fallu mettre en place des appuis provisoires pendant toute la construction.



Fig. 9 : Corps de bâtiment au rez-de-chaussé avec murs concaves
(Photo Iwan Baan © Vitra)

Fig. 10 : Coupes avec dessin de l'armature de compression (Document ZPF Ingenieure)

Fig. 11 : Vue intérieure (Photo Iwan Baan © Vitra)



Cet étayage temporaire, extrêmement coûteux, a soutenu le bâtiment jusqu'à sa mise en charge définitive.

L'art de cacher la structure

Aujourd'hui, qu'il se situe à l'extérieur comme à l'intérieur, celui qui visite la Maison Vitra ne perçoit ni la complexité de la circulation des charges, ni les différentes épaisseurs des murs. Il ne réalise pas non plus que le bâtiment a passé par des phases de construction extrêmement complexes. La collaboration entre ingénieurs et architectes très tôt dans le projet a porté ses fruits : le fonctionnement en tube du système porteur s'adapte parfaitement au concept architectural, puisqu'il a permis de concrétiser l'empilement des volumes voulu par le projet.

Le fait de ne pas regarder la structure porteuse comme une fin en soi, mais de la concevoir comme une partie intégrale du projet d'architecture – voilà tout l'art du travail de l'ingénieur. Si cela réussit dès le début, la structure est inséparable de la forme de l'ouvrage. Elle en fait partie et est donc visible et invisible à la fois.

Nico Ros, ing. civil HES
ZPF Ingenieure AG
Kohlenberggasse 1
CH – 4501 Bâle

Traduit de l'allemand par Anna Hohler et Jacques Perret