



CONCOURS : CONSTRUCTION BELVÉDÈRE

LE BELVÉ-ÈDRE

Équipe : COLLECTIF R+T

Guillaume BARBAROUX, architecte

Félicien DUVAL, architecte

Émilie HERGOTT, ingénieur et architecte

Lorenzo PONZO, ingénieur

Benoît STEHELIN, architecte

CONCEPTION TECHNIQUE ET PROJET ARCHITECTURAL

Le Tétraèdre (génération d'une architecture, flexibilité)

La structure principale du belvédère est construite à partir de la répétition d'un module de tétraèdre régulier de 5m de côté : le treillis tridimensionnel qui en résulte est une structure minimale contreventée. La raideur de la structure découle directement de ce principe de contreventement systématique.

Chaque arête de tétraèdre est constituée d'une poutre en bois lamellé collé articulée aux extrémités.

La génération de la géométrie du belvédère est faite à partir de la répétition dans l'espace d'un même module, un tétraèdre régulier. Ce rigoureux principe géométrique trouve ses raisons d'être dans un raisonnement structurel qui prend en compte les contraintes techniques du matériau bois et d'une construction économique et simple dans un lieu peu accessible. Par exemple,

1. un tétraèdre isolé est une structure stable et contreventée par sa forme : elle ne nécessite pas d'encastres aux connexions, ni de continuités entre éléments : le treillis spatial obtenu par superpositions successives de tétraèdres est donc un treillis contreventé par sa forme et non pas par des assemblages ou par la flexion des arêtes.
2. du fait du contreventement géométrique garanti par la forme du treillis, les barres constituant l'ossature sont sollicitées essentiellement par des efforts axiaux (traction et/ou compression). Grâce à cela, on peut tirer profit du matériau bois, léger et structurellement performant sous des états de sollicitations simples (notamment à l'interface bois/acier au droit des assemblages).
3. un tétraèdre régulier compte quatre arêtes de même taille : une d'optimisation lors de la fabrication, du montage et du transport est évidente. Toutes les poutres en bois lamellé collé sont identiques (L = 4200mm, H = 350mm, B = 350mm) et régulières. La complexité géométrique est concentrée aux assemblages, différents selon le nombre d'arêtes connectées, mais conçus à partir du même principe géométrique et du même élément cylindrique.

Architecture, parcours et lieux

Ce module, qui génère la structure, génère aussi la promenade qui s'enroule autour en définissant la toiture du pavillon de départ, le rythme de l'escalier, le sol de la plateforme d'arrivée.

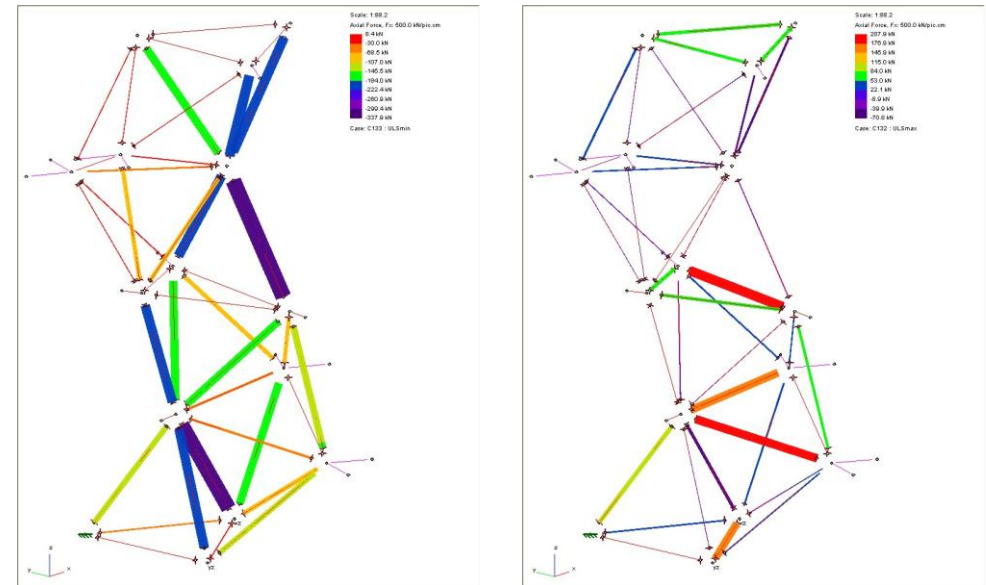
Les tétraèdres ainsi assemblés sont potentiellement investis et desservis par la promenade : Des terrasses sur le paysage, des cabanes, des interventions artistiques peuvent être installées temporairement dans ces volumes. Ces lieux restent à définir et sont matérialisés par des filets à ce stade du projet. La promenade, irrégulière révèle, la géométrie de la structure et propose de nombreux points de vue sur le paysage environnant.

Utilisation du bois comme élément de structure et d'architecture

L'ossature du belvédère est composée d'éléments en bois lamellé collé assemblés par des connecteurs en acier de formes complexes. C'est une structure géométrique créée par l'assemblage de modules réguliers. L'ossature est un objet technologique.

La promenade est recouverte d'un bardage en bois brut. Les planches sont vissées et disposées de manière aléatoire. La promenade a une image organique.

On peut imaginer que les lieux créés dans le volume des tétraèdres soient, tels des nids, délimités par un tressage de branches, une enveloppe végétale. Pour la conception du belvédère, on se sert du matériau bois à différents niveaux de transformation en fonction de l'utilisation qu'on en fait.

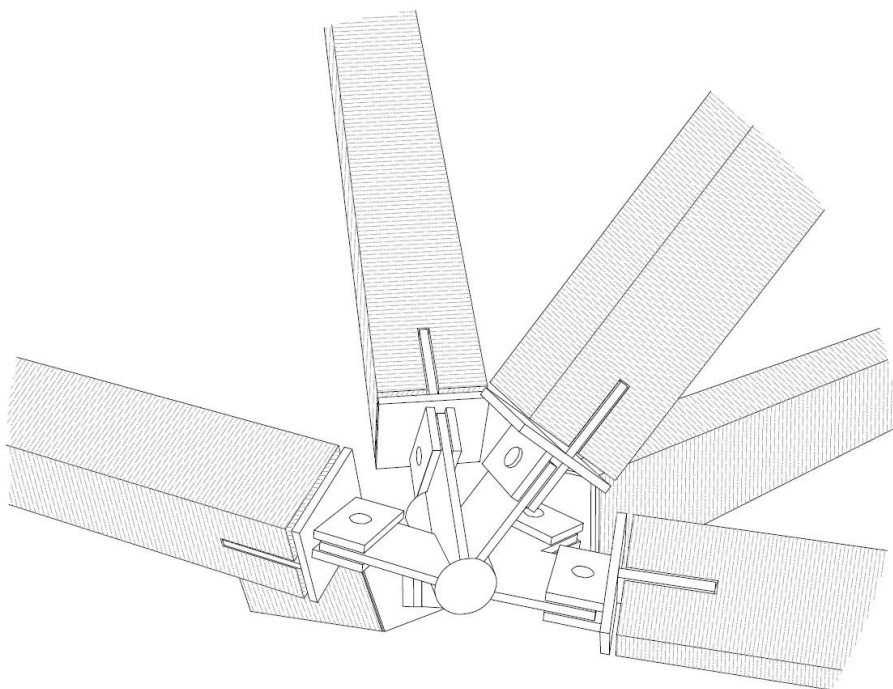


Diagrammes d'effort axial en combinaison ELU (compression à gauche, traction à droite).

Assemblages

Les nœuds d'assemblage en acier assurent la liaison articulée entre toutes les arrêtes. Ils sont construits à partir de deux plans perpendiculaires contenant chacun au moins deux arrêtes du nœud : la répétition du module tétraèdre assure que de tels plans existent effectivement à chaque connexion d'au moins 4 arrêtes. L'intersection des plans est la résolution géométrique de l'assemblage : elle définit l'axe du cylindre support de la connexion, sur lequel sont soudées toutes les platines reliées par un axe d'articulation aux poutres.

Dans l'ossature du pavillon où l'on perd la stabilité géométrique des tétraèdres complets, certaines connexions doivent être encastrées afin d'assurer une stabilité par portique.



Détail du nœud d'assemblage

Fondations

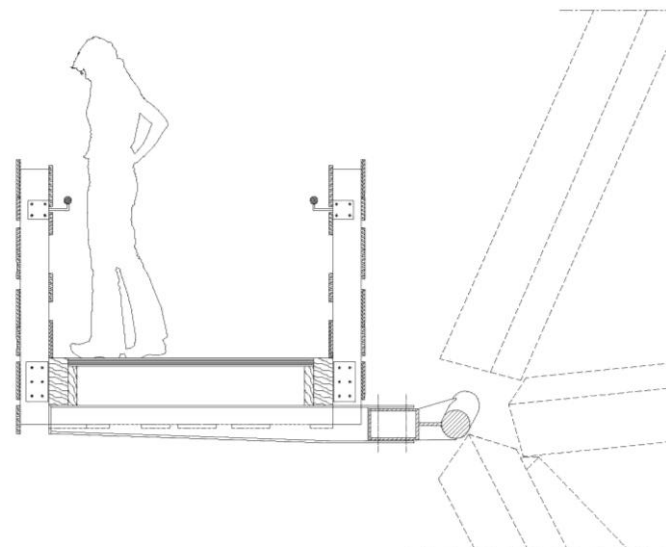
Les charges appliquées à la structure sont conduites vers le sol par le treillis spatial et ses trois points d'appui à sa base. Compte tenu de la disposition en plan des trois appuis (faible espacement par rapport à la hauteur du belvédère), la charge sur un des appuis peut s'inverser. Les deux mesures suivantes sont prises :

1. réalisation d'une fondation capable de reprendre des efforts de traction : ceci est fait par une fondation superficielle en béton suffisamment massive pour fonctionner de contrepoids. En outre, en cas de nécessité et en fonction des propriétés du sol de fondation, ce massif peut être ultérieurement ancré par l'utilisation de tirants.
2. solidarisation des trois fondations superficielles : cette mesure revient à fermer le tétraèdre de base de la tour et elle est destinée à réduire considérablement les efforts tranchants horizontaux (générés par l'inclinaison naturelle des barres) sur les fondations. Cette solidarisation est réalisée dans le plan des fondations, au plus près des assemblages des premières barres du belvédère, de manière à laisser plus de liberté pour l'organisation de l'espace à la base de la tour.

Escaliers

Les escaliers sont constitués de deux limons en bois massif parallèles, supportés simplement par deux poutres acier en porte à faux depuis la structure principale. Ces poutres sont également le support de chaque palier entre escaliers.

Les nœuds de connexion comprenant des poutres en porte à faux comprennent donc des encastremets : chaque poutre est en continuité de moment avec une poutre en bois.



Coupe sur palier d'escalier

Montage, transport et entretien

Grâce à la standardisation des éléments structuraux, à leur faible longueur (55 barre d'environ 4.5m de long) et à leur poids limité (environ 300kg y compris assemblages aux abouts), les poutres peuvent être facilement transportées sur site.

La méthode de montage peut profiter de la décomposition en tétraèdres de l'ossature et de connexions simples aux abouts des poutres en bois. Une fois la pyramide de base posée, la pyramide suivante peut être assemblée au sol, provisoirement fermée par des barres amovibles, manutentionnée en position et fixée dans sa position définitive.

Les escaliers, des ensembles incluant les limons, marches, garde-corps et bardages, peuvent être pré-assemblés au sol ou en atelier et ensuite posés à l'avancement par les mêmes moyens de levage utilisés pour l'assemblage de l'ossature.

En ce qui concerne l'entretien ou le remplacement d'un élément structurel ; les barres provisoires utilisées lors du montage peuvent remplacer temporairement celle à réparer.

Estimation du prix

Le prix de l'ouvrage (fourniture et montage) se décompose selon le tableau suivant:

BOIS LAMELLE COLLE	53 000 €
BOIS MASSIF (bardage, plancher, limons, GC)	14 000 €
ASSEMBLAGES ACIER	51 000 €
FONDATIONS	21 000 €
LOCATION GRUE	8 000 €
COUT TOTAL	147 000 €

PRESENTATION DE L'EQUIPE

La conception de cette proposition a été assurée par le **Collectif R+T** associant architectes et ingénieurs (Guillaume Barbaroux, Félicien Duval, Emilie Hergott, Lorenzo Ponso, Benoît Stehelin) qui ont collaboré sur le projet de la Fondation Louis Vuitton pour la création.

Émilie Hergott est ingénieur diplômé de l'École Polytechnique (Palaiseau). En parallèle d'une spécialisation en ingénierie des structures à l'École Nationale des Ponts et Chaussées et à l'Université de Berkeley (Californie), elle poursuit un cursus en architecture qu'elle mène jusqu'à l'obtention d'un diplôme d'architecte.

Elle travaille depuis 2008 au sein du bureau d'étude structures RFR (Paris): elle est notamment chef de projet pour la conception, le suivi des études d'exécution et de la réalisation de la Fondation Louis Vuitton pour la création. Elle est associée également à plusieurs projets de charpente métallique, de passerelles et de charpente bois. En particulier, elle est en charge de la conception et de la réalisation de la couverture d'une aire de chargement d'une surface de 15000m², consistant en la répétition de modules-parapluies en bois lamellé collé.

Lorenzo Ponso est ingénieur diplômé en 2007 de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, département Génie Civil et Construction, et du Politecnico di Torino (Italie), département d'Ingénierie Structurale et Géotechnique.

Il rejoint l'équipe de TESS – atelier d'ingénierie à Paris en 2007. Dès septembre 2007, il intègre l'équipe de Maîtrise d'œuvre de la Fondation Louis Vuitton pour la création dont il suit la conception et la réalisation en tant que chef de projet d'enveloppes vitrées complexes et de verrières extérieures (12000m² de surface vitrée a géométrie complexe, composées de 12 ouvrages distincts, soutenus d'une charpente mixte en bois lamellé collé cintré et en acier). Il participe aussi au projet de réhabilitation de la Cité Universitaire de Nancy, pour lequel il est en charge de la conception technique et du suivi de la réalisation d'extensions en panneaux de bois contrecollés de 800 chambres d'étudiants sur 5 niveaux.

Guillaume Barbaroux, Félicien Duval et Benoît Stehelin, architectes, sont également employés par les bureaux d'études RFR et TESS. Ils ont participé, en tant que chefs de projet, aux phases de développement du projet de la Fondation Louis Vuitton pour la création, ainsi qu'au suivi de chantier et aux études d'exécution attribuées à RFR et TESS.