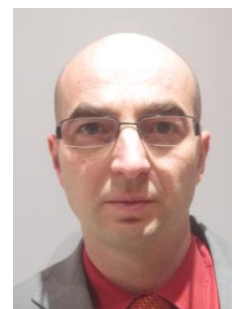


La Fondation Louis Vuitton pour la Création

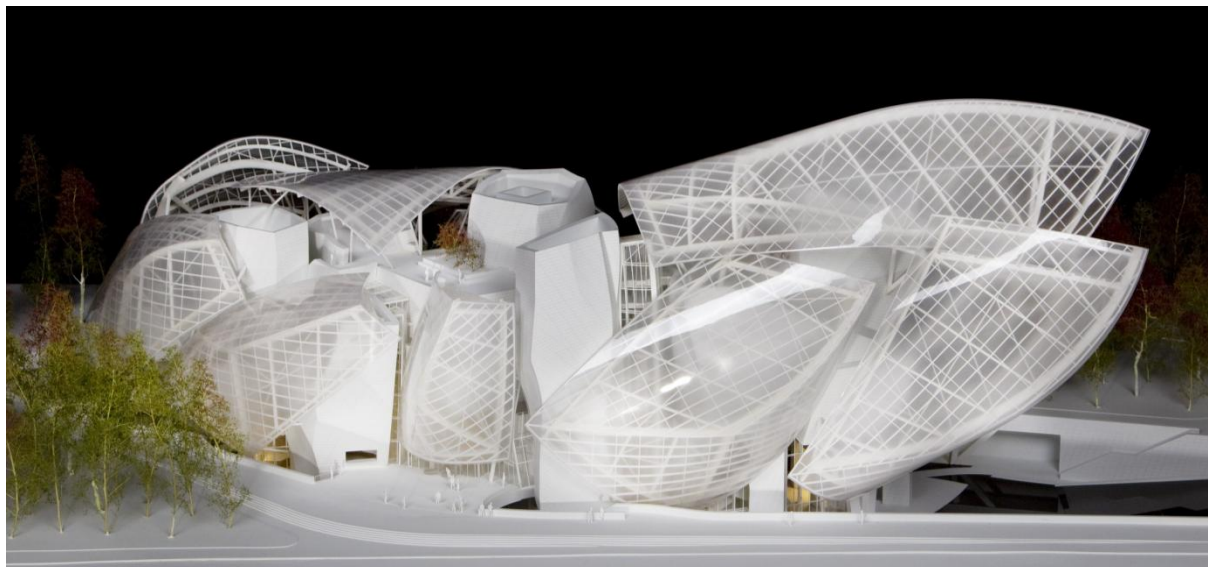
Une structure bois d'exception à Paris

Emmanuel Deline
Eiffage Construction Métallique.
FR-Paris



Jean-François Bocquet
ENSTIB Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois
FR-EPINAL 88051 Cedex 9





1. Introduction

La Fondation exprimera les valeurs d'excellence, de savoir-faire et de créativité qui fondent le succès de la Maison Louis Vuitton à travers le monde. Depuis sa création en 1854, Louis Vuitton a constamment créé, innové et ouvert son propre univers à l'art et aux artistes.

Une réflexion autour du projet a mûri et s'est construite depuis 1992 et c'est donc en 2006 que le groupe LVMH et ses filiales ont décidé de créer une Fondation d'entreprise : La Fondation Louis Vuitton pour la création.

La Fondation Louis Vuitton pour la création se fonde sur le mécénat du groupe LVMH/Moët Hennessy-Louis Vuitton développé depuis maintenant vingt ans en faveur de l'art et de la culture. Il s'agit d'une fondation dont l'activité sera intimement liée à l'activité de la plus grande marque de luxe au monde.

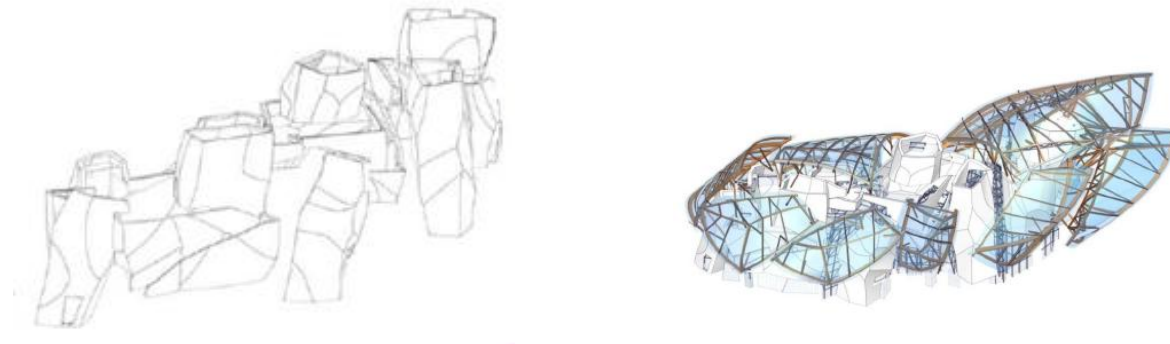
Pour cette Fondation, le président de LVMH Monsieur Bernard ARNAULT a confié le projet à l'architecte Frank GEHRY, prix Pritzker d'architecture en 1989. La Fondation sera située au cœur du Bois de Boulogne dans un site cher aux parisiens.



Le dessin de ce bâtiment présente des formes transparentes et chaotiques afin que celui-ci se fonde avec le lieu et se ré-invente au gré des saisons, au fur et à mesure des

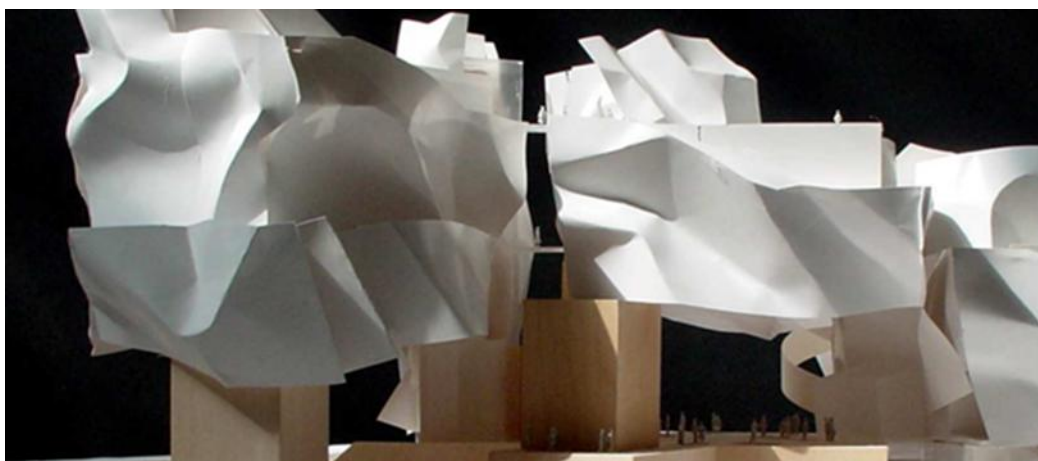
expositions et des manifestations. Le bâtiment sera posé sur un bassin d'eau en bordure du Bois de Boulogne.

L'iceberg, une succession de formes blanches ponctuées de terrasses arborées, se niche sous une verrière qui capte subtilement la lumière du site.



Fidèle à sa méthode, Frank GEHRY travaille tout d'abord sur des maquettes qu'il façonne à la main avant de développer ses créations à l'aide de logiciels informatiques venant du monde de l'industrie aéronautique. Cette technologie issue de l'aéronautique réunira et ce, depuis les premières étapes du projet, l'ensemble des partenaires. Un outil unique sera utilisé : Digital Project.

(Digital Project : logiciel développé par Gehry Technologies à partir de l'outil Catia de Dassault aéronautique).



2. Description du Bâtiment

La structure de la Fondation se caractérise tout d'abord par la particularité de ses formes concaves et convexes quelle que soit la partie du bâtiment concernée. Ainsi aucun des matériaux utilisés n'échappe aux contraintes géométriques où qu'il soit mis en œuvre : le béton, l'acier, le bois, le verre tous se « plient ou se cintrent ».

Au-dessus de la partie fondation constituée d'un radier en béton poids étanche (11000 m³) résistant aux surpressions hydrostatiques, des volumes en béton armé adoptent des formes tubulaires à plusieurs faces concaves.



Ces volumes qui donnent corps au projet sont recouverts d'une enveloppe isolante complexe dont la vêtue comprend 20000 panneaux en BFHUP de formes toutes différentes. Cette partie de l'ouvrage est appelée « Iceberg » et offre 11000 m² de plancher. Sur ce socle en béton, une charpente métallique primaire constituée de poutres et de treillis est ancrée. Cette structure métallique primaire avec le béton permet de recevoir les poteaux en acier ou en bois supportant les 12 verrières tridimensionnelles de 13500 m² qui culminent à 46 m d'altitude.

Les verrières qui donnent cette transparence à l'ouvrage sont des parties très sophistiquées et complexes. En effet, les verrières doivent tout d'abord être étanches afin d'empêcher les infiltrations et conduire les ruissellements. Elles doivent permettre les dilatations de la structure tout en assurant la transmission des efforts, poids propre et charges climatiques sur la charpente. Chacune est donc composée d'une structure secondaire métallique en inox qui se trouve accrochée à la charpente proprement dite de la verrière.

Le squelette de ces charpentes secondaires pourrait ressembler à celui des nervures d'une feuille d'arbre si le limbe de celle-ci était constitué de verre. La nervure centrale constitue un axe de rotation. Les nervures secondaires sont alors accrochées sur la structure principale par des pivots glissants permettant la dilatation de ces nervures et des vitres sur la charpente.

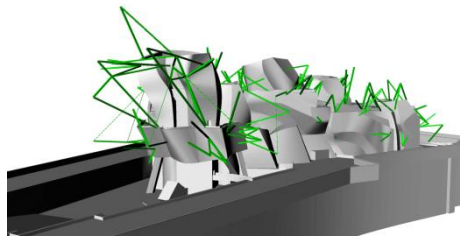


3. Composition des verrières

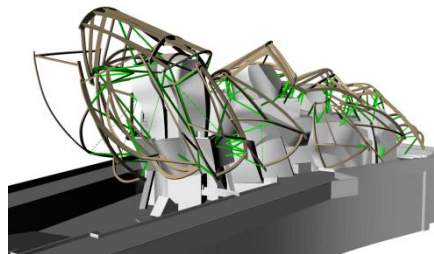
La Fondation est donc composée de 12 verrières dont 3 font office de parapluies. Les surfaces vitrées de ces verrières vont de 800 à 2700m².



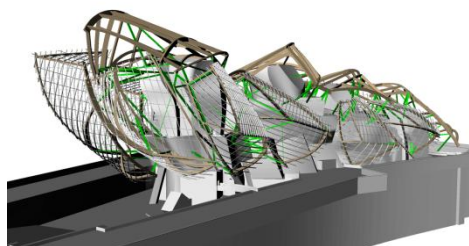
Les verrières sont composées de poteaux appelés communément par l'ensemble des parties 'tripodes'. Ces tripodes viennent s'agrafer à la structure du bâtiment et sont soit en bois soit en acier.



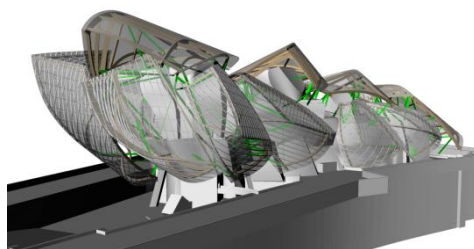
A partir de ces tripodes, une ossature secondaire en bois et en acier vient s'ajouter pour créer la charpente des verrières.



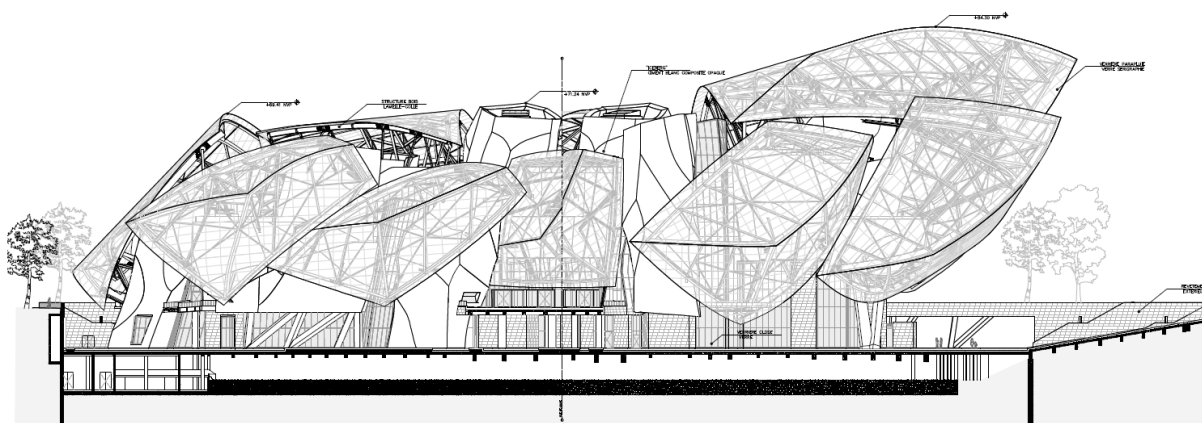
Sur cette charpente, une grille en inox se connecte.



Cette grille est enfin fermée par environ 3500 panneaux afin de constituer une peau étanche.



Pour se rendre compte du volume du bâtiment, on peut le comparer à Beaubourg.

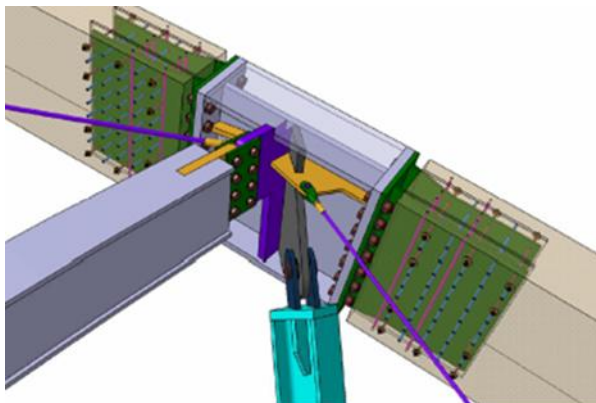
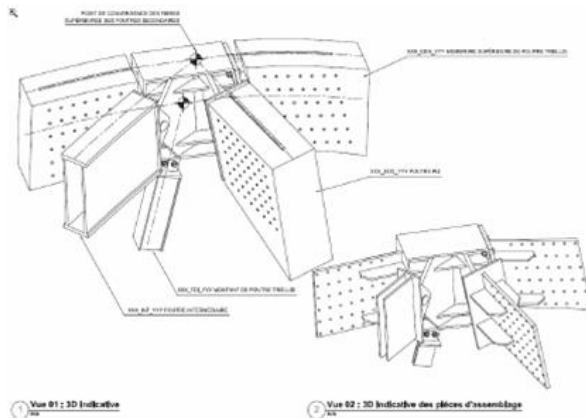


4. Les poutres bois

Les charpentes des verrières (environ 800 m³ de bois) sont constituées de poutres principales en bois lamellé-collé feuilleté en mélèze purgé d'aubier (origine Autriche) sélectionné suivant son altitude de pousse afin d'assurer une masse volumique précise au chantier. La masse volumique moyenne exigée est de 585kg/m³. Ces poutres sont à inertie constante toujours cintrées, pouvant pour certaines avoir une double courbure. Elles sont fabriquées et usinées par HESS Timber GmbH (Allemagne) à une humidité de 12%. D'une largeur de 400 mm, leur hauteur peut varier suivant les éléments de 600 mm à 1200 mm pour les plus grandes portées. Ces poutres sont assemblées les unes aux autres ainsi qu'avec d'autres poutres métalliques sur des blocs de jonction métalliques. Ces blocs permettent de faire reposer la structure sur des tripodes.

Afin de permettre le montage, chaque poutre en bois reçoit à ses extrémités un assemblage métallique en inox composé de deux plats d'une épaisseur de 15 mm soudées sur une platine d'extrémité de 40 mm d'épaisseur (*Illustration 3*). Cette platine permet par boulonnage d'assembler les poutres aux blocs et d'assurer la transmission d'un torseur complet d'efforts. Les broches ne traversant qu'un seul plat, la répartition de

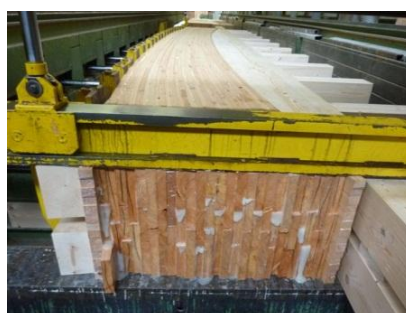
la largeur des poutres bois s'établit suivant les proportions suivantes $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ afin d'optimiser le fonctionnement de l'assemblage. Les broches sont montées sans jeu dans le bois, le jeu dans les ferrures a été réduit à 0,5 mm au diamètre. Un ensemble de broches boulonnées, disposées judicieusement et traversant de part en part l'assemblage, viennent remplacer certaines broches afin d'assurer la fermeture de l'assemblage. Afin de fretter l'assemblage, deux rangées de tiges filetées de type SFS WB de 16 mm de diamètre ont été introduites soit 8 tiges. Les tiges sont disposées proportionnellement à la largeur de bois soit une tige par file dans la partie extérieure de l'assemblage et deux dans la partie centrale. Une file est disposée en extrémité d'assemblage, une seconde rangée au tiers de l'assemblage en partant de l'extrémité.



Il est à noter que les géométries complexes des verrières créent des risques d'exposition des poutres bois aux intempéries ce qui n'est pas acceptable puisqu'il faut être en classe d'emploi 2. Une étude approfondie d'exposition des éléments bois aux intempéries a donc été menée afin de déterminer la classe d'emploi de chacun des éléments. Un capotage en inox est donc mis en œuvre sur la longueur des zones exposées afin de se replacer en classe d'emploi 2.

En phase de transport et de montage les poutres bois sont protégées d'une bâche micro-respirante pour une durée pouvant aller jusqu'à 12 mois.

Afin de permettre le montage, chaque poutre en bois reçoit à ses extrémités un assemblage métallique en inox composé de deux plats d'une épaisseur allant de 15 mm à 20mm soudées sur une platine d'extrémité de 40 mm d'épaisseur. Cette platine permet par boulonnage d'assembler les poutres aux blocs et d'assurer la transmission d'un torseur complet d'efforts.





5. Le montage

Les études de montage ont été réalisées pour assurer la réussite des opérations de pose. Ces études complexes ont repris :

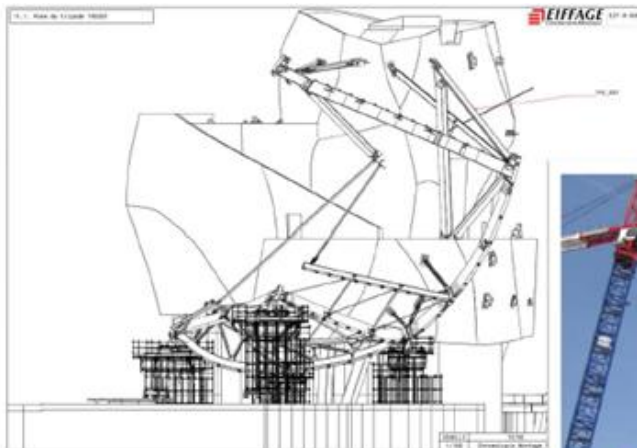
- Les contraintes du site (icebergs, enveloppes vitrées, passerelles, etc...) qui dictent les possibilités d'appuis provisoires de la verrière. En raison de ce nombre d'appuis disponible/rendu possible, la structure du secondaire est sollicitée dans des configurations qui ne correspondent pas à son schéma définitif. Pour cela, nous avons dû mettre au point une procédure de vérification d'indicateurs. Le principal indicateur est le taux de travail dans les connexions bois-acier des poutres bois. Dans les configurations intermédiaires de montage, les poutres bois sont par exemple plus souvent soumises à des flexions d'axe faible. Des tâtonnements et des itérations sont nécessaires pour faire évoluer la disposition des appuis de manière à ne pas sur-solliciter les connexions. Un autre indicateur est la superposition de l'enveloppe des sollicitations de montage avec les enveloppes ELU service. A chaque itération, le modèle de calculs doit être modifié, les connexions vérifiées et les diagrammes examinés.
- Les appuis provisoires. Outre les palées provisoires d'appui, nous utilisons également des stabilisateurs provisoires reliant soit deux éléments internes, soit un élément de la verrière à la structure du primaire (en général via des ancrages de tripodes). Les points d'attache sont régulièrement l'objet de déplacement, pour plusieurs raisons : la charge due à la verrière est trop importante, des problèmes d'encombrement ou d'accessibilité, des interfaces avec les finitions...
- Les verrières ont été étudiées avec une configuration géométrique déterminée et un réglage fixé. Certaines verrières ont des éléments BRA constitués de Macalloys ; un réglage s'est avéré nécessaire, à introduire au moment du montage. D'autres verrières ont des éléments BRA constitués de tubes circulaires. Les autres éléments peuvent en général être montés en profitant de la déformabilité de la structure ; la forme des mailles en quadrilatère offre une certaine souplesse. Les éléments BRA sont les éléments de triangulation qui rigidifient les mailles. Leur mise en place crée des contraintes géométriques plus sévères.

Après ce travail, la séquence peut être entièrement remise en cause par des considérations de montage (regroupement des phases de mise en tension...) auquel cas il faut relancer l'entièreté du modèle, à nouveau effectuer les vérifications de connexions bois-acier et comparaison des diagrammes pour attester l'acceptabilité de la solution.

Le montage de chaque structure secondaire des verrières a fait l'objet d'un carnet de levage avec les modes d'élinguage pour chaque élément. Afin d'éviter toute manipulation des poutres bois dans les phases de montage, les poutres sont levées dans leurs orientations définitives. Seul un réglage fin est opéré.



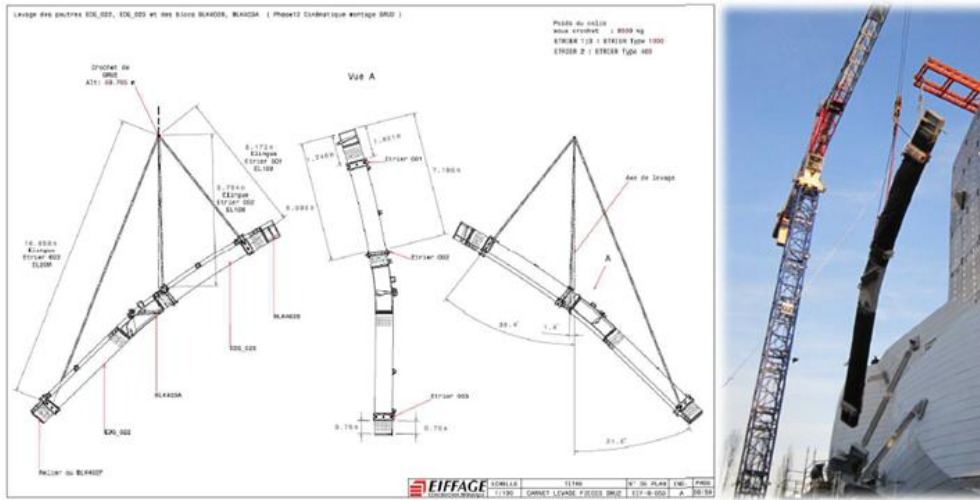
6. Chronologie de montage



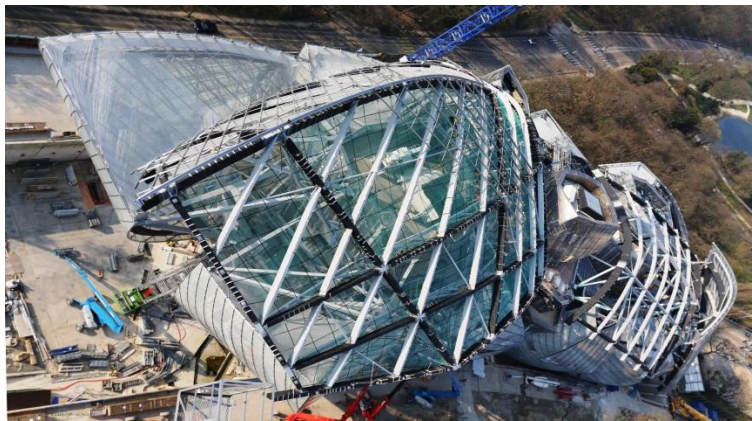
Etape 11 chronologie de montage SHU



Carnets de levage



Le chantier à date :



7. Conclusion

Les études d'exécution du Lot 15 pour Eiffage Construction Métallique ont commencé en Juin 2009 et la fin des opérations de montage y compris les finitions sont prévues pour septembre 2013.

La décomposition des heures entre les études, la fabrication et le montage est relativement homogène puisqu'environ 165,000.00 heures ont été dépensées pour chacune de ces tâches. Cette décomposition est exceptionnelle pour un projet standard mais relativement adéquate pour un projet de cette envergure et de cette complexité.

Les principaux intervenants:

Le maître d'ouvrage : FONDATION LOUIS VUITTON
Assistant maîtrise d'ouvrage : QUADRATURE Ingénierie
Architecte : GEHRY PARTNERS,LLP
Architecte d'opération : STUDIOS ARCHITECTURE
Bureaux d'études : SETEC Bâtiment
RFR / TESS
Entreprise générale : VINCI Construction France
(groupement de filiales Petit, GTM Bâtiment et Dodin)
Sous-traitant lot 15 - Verrières : EIFFAGE Construction métallique
Bureau d'études d'exécution Verrières : GREISCH (Belgique)

Quelques chiffres pour résumer :

- 1500t d'acier noir.
- 1500t d'innox Duplex 1.4462
- 800m³ de mélèze
- 3500 panneaux pour une surface totale vitrée de 13,500m².

Remerciements à :

- La fondation Louis Vuitton pour l'autorisation d'utiliser les maquettes et textes issus de leur présentation.
- Monsieur Louis-Marie Dautat pour l'utilisation de certaines de ses photographies.