

Le Centre Pompidou Metz



Intervenant:

Entreprise: Holzbau Amann GmbH

Tobias Doebele

- ingénieur de construction bois
- chez Amann depuis 2004

Taches:

- chiffre et vente
 - directeur de projet
- principalement projets hors l'Allemagne

Introduction Holzbau Amann:

- établie en 1932

 - à Weilheim-Bannholz, Baden W uerttemberg

 - entre la frontière française et suisse

 - fondateur Xaver Amann + 2 employés

 - charpente traditionnelle

- 1955 Gerhard Amann entre dans l'entreprise

 - ~ 15 employés

 - focus sur les projets de grande taille

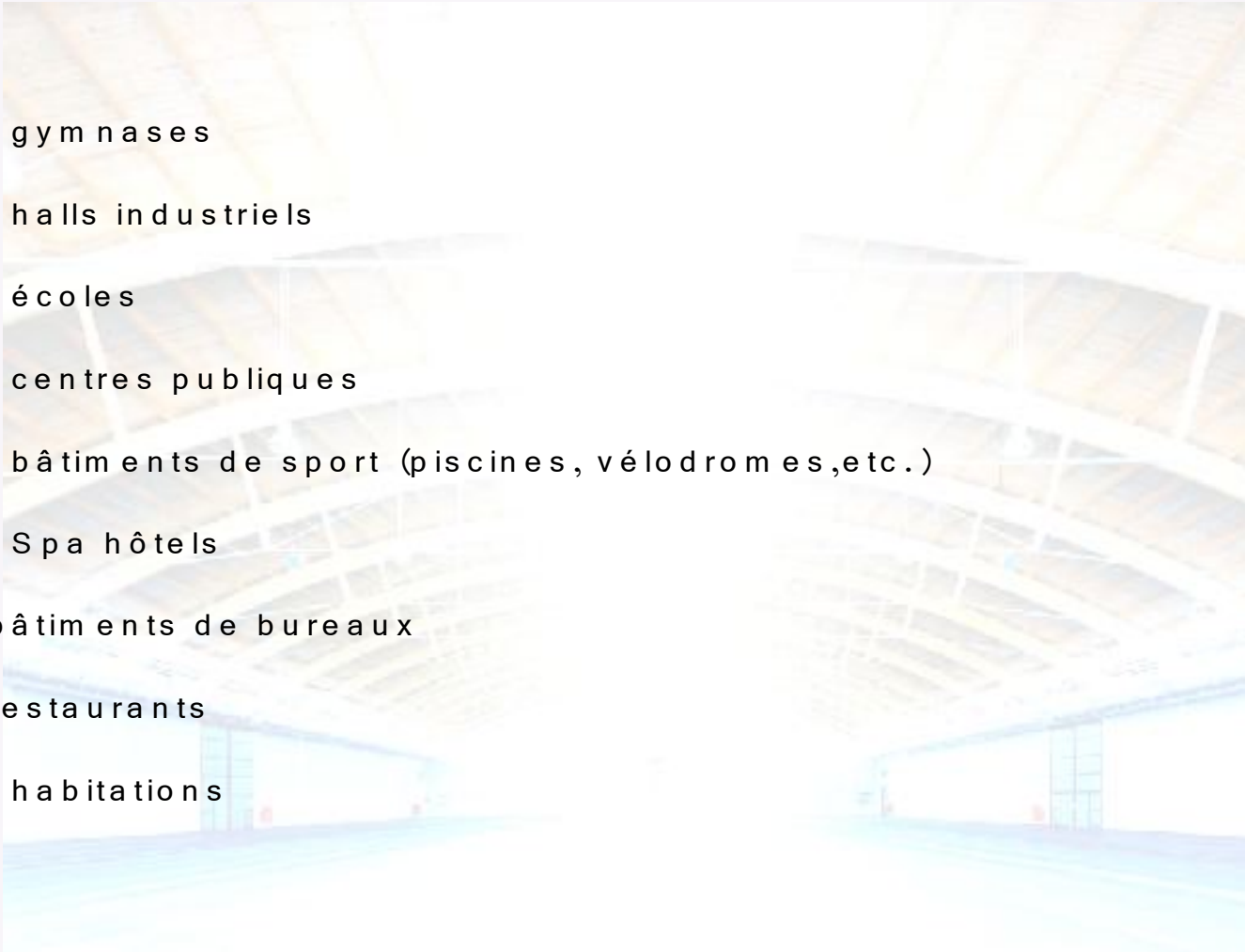
- 2008 l'une des entreprises de construction en bois les plus importantes

 - ~ 50 employés (ingénieurs, techniciens, maître charpentiers, etc.)

 - constructions en bois de grande taille en Allemagne et à l'extérieur

Projets réalisés depuis 1932

- 51 gymnases
- 56 halls industriels
- 30 écoles
- 27 centres publics
- 29 bâtiments de sport (piscines, vélodromes, etc.)
- 17 Spa hôtels
- 6 bâtiments de bureaux
- 9 restaurants
- 75 habitations



Toiture Hermes

EXPO 2000, Hannover, Allemagne

Architectes: Herzog + Partners, Munich

Date: 1999/2000

Spécifications:

40 coques 20x20m

10 poteaux, hauteur ~ 25m, construits de 4 troncs d'arbres, $\varnothing \sim 1,40\text{m}$

surface toiture ~ 16.000 m²

Prestations Holzbau Amann:

planification et mise en pratique de la structure en bois

taillage et assemblage des poteaux

assemblage des coques sur chantier

montage de la construction en bois entière

au maximum ~ 200 charpentiers sur site

Toiture Hermes

EXPO 2000, Hannover Germany



assemblage d'une coque

montage d'une coque



Toiture Hermes

EXPO 2000, Hannover Germany



poteau avec coques

vue d'ensemble



Chesa Futura

St. Moritz, Suisse

Architectes: Foster and Partners, London

Date: 2001 / 2002

Spécifications:

habitation „de luxe“

10 appartements (de 120m² à 400m²)

~ 230 m³ lamellé collé

~ 15 t d'acier

~ 2500m² bardeaux en mélèze

Prestations Holzbau Amann:

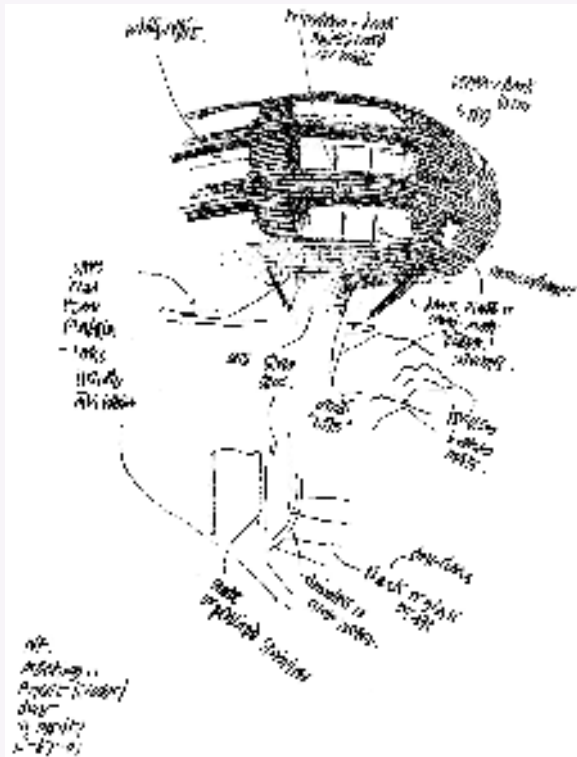
planification et mise en pratique de la structure en bois

taillage et montage de la structure

isolations et achèvement intérieur

Ches a Futura

St. Moritz, Suisse



croquis de l'architecte



photomontage



m o d è l e 3 d d e l' a r c h i t e c t e

Chesa Futura

St. Moritz, Suisse



assemblage des éléments en usine

Montage sur chantier



Chesa Futura

St. Moritz, Suisse



m o n t a g e

f a ç a d e b a r d e a u x m é l è z e



Chesa a Futura

St. Moritz, Suisse

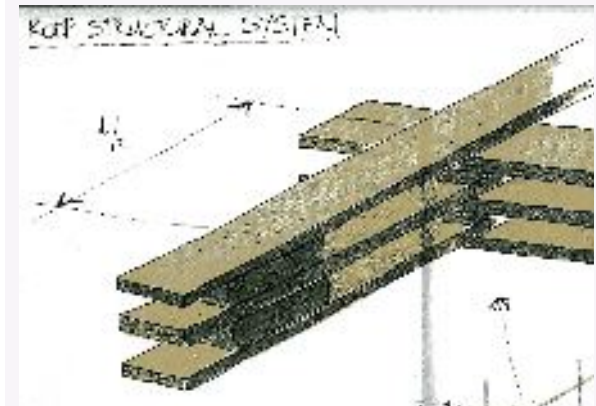
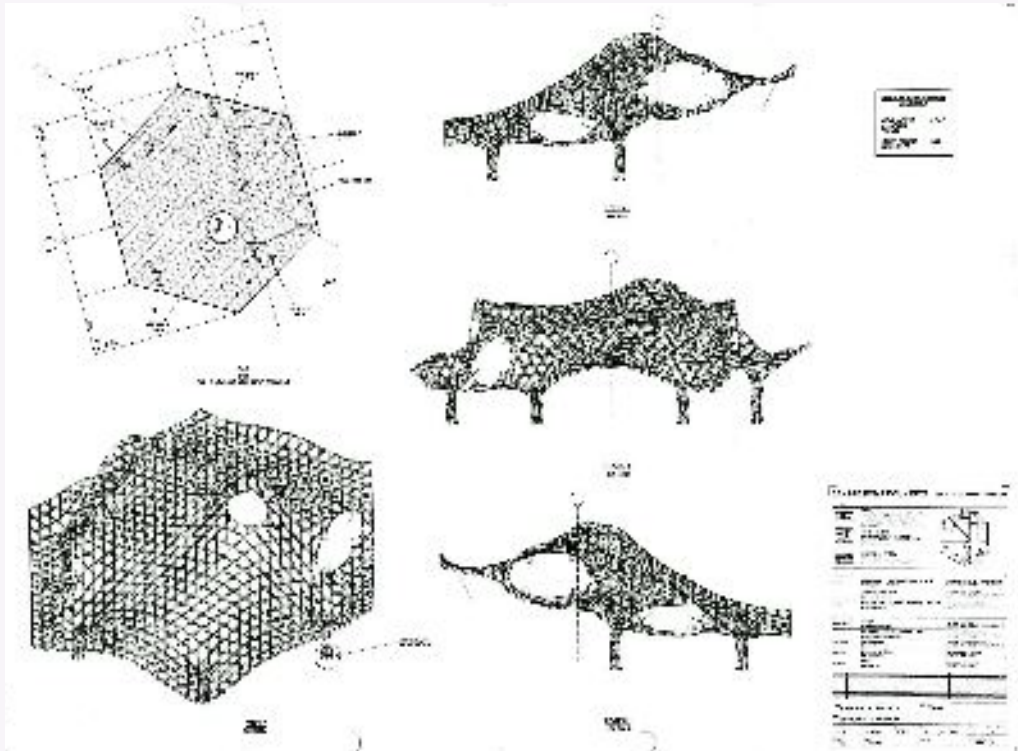


Le Centre Pompidou Metz



Le début

automne 2004: courriel d'un bureau d'étude anglais



“... develop it's constructability and make a preliminary cost estimate...”

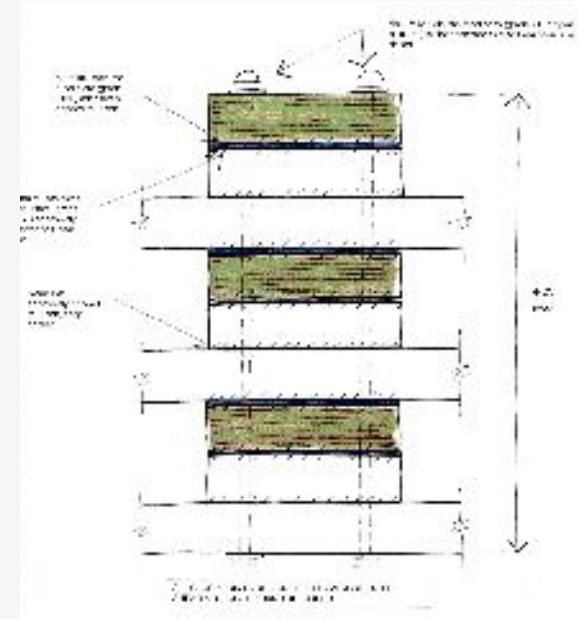
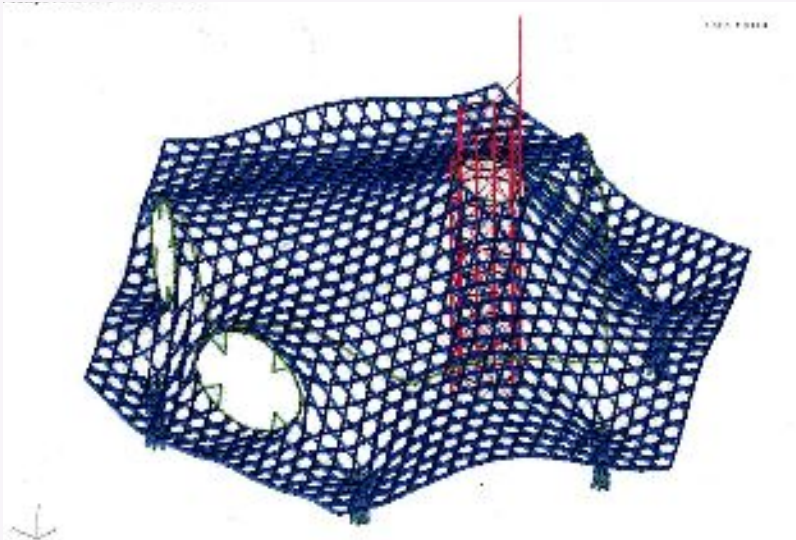
Le début

Spécifications fournies:

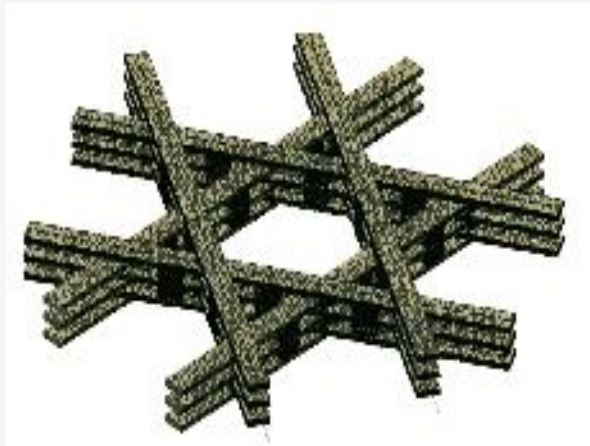
- géométrie complexe de la toiture
- surface de la toiture 8500m²
- triple couche de planches, en 3 directions formant grillage, trame 3,0m
- planches construits de plusieurs couches de LVL, sciées et cintrées
- entretoises en LVL entre les planches pour reprendre le cisaillement
- connexions des planches par vissage et par collage (sur chantier!)
- assemblage de coques sur terre, ensuite montage des coques
- Couverture en membrane PTFE

Le début

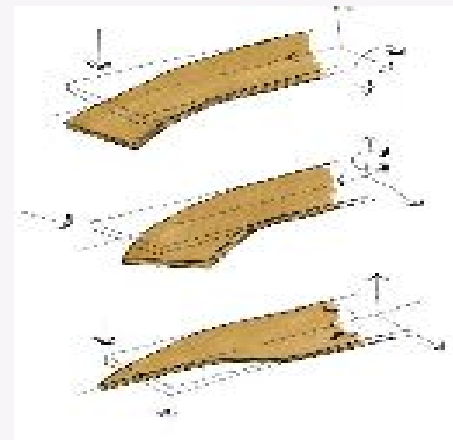
modèle 3D



assemblage



grillage



Cintrage des
planches

Le début

Evaluation de la solution projetée

Pro:

- LVL : produit de haute capacité

Contra:

- coût du matériel du LVL très élevé, surtout en vue du coupage des planches
- collage sur chantier → délicat
- cintrage des planches lors de l'assemblage → efforts supplémentaires, imprévisibles
 - précision cintrage ? tolérances ?
 - remise à l'état initial des planches ?
- géométrie non répétitive de la toiture
 - 8500m^2 surface de toiture = 8500m^2 de moules non répétitives pour produire des coques
 - assemblage de la structure par coques pré-assemblées peu favorable en raison du nombre élevé de connexions entre les coques lors du montage coque par coque

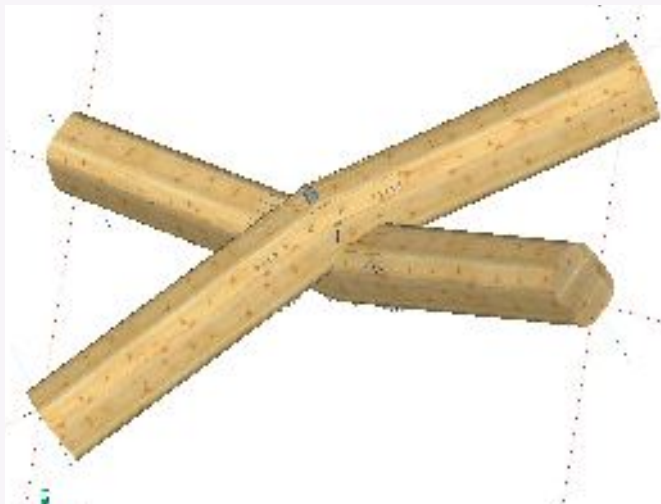
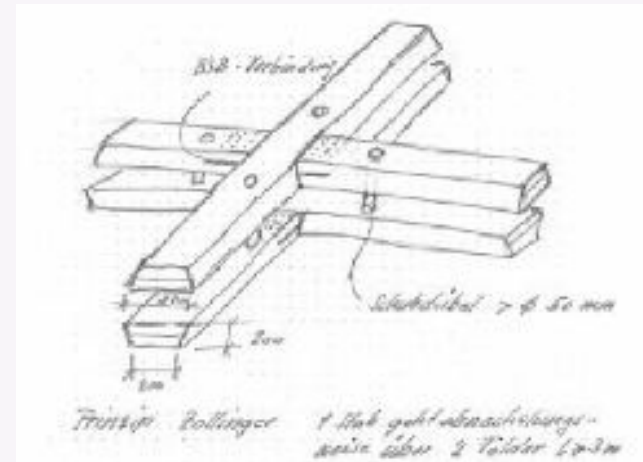
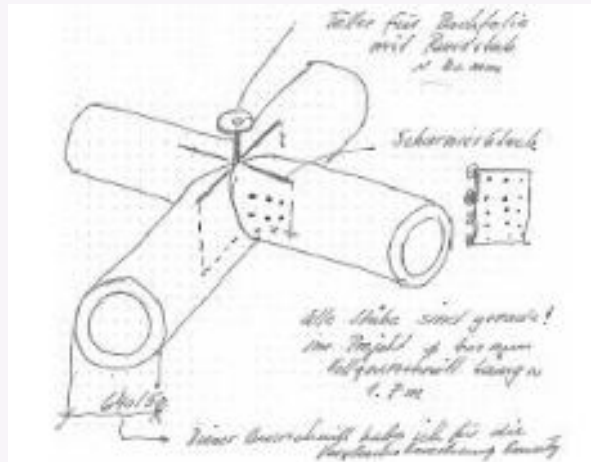
→ Projeter une variante

Le début

Ensemble avec Hermann Blumer, expert en bois suisse,
Amann élaborait plusieurs variantes



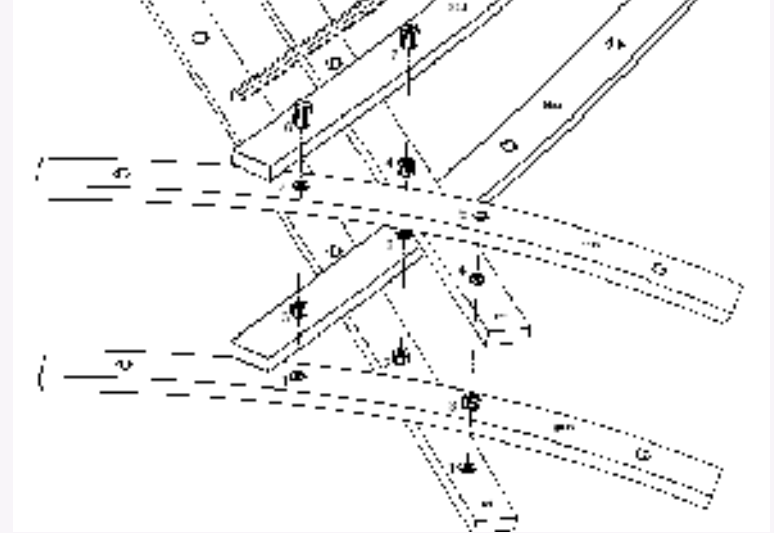
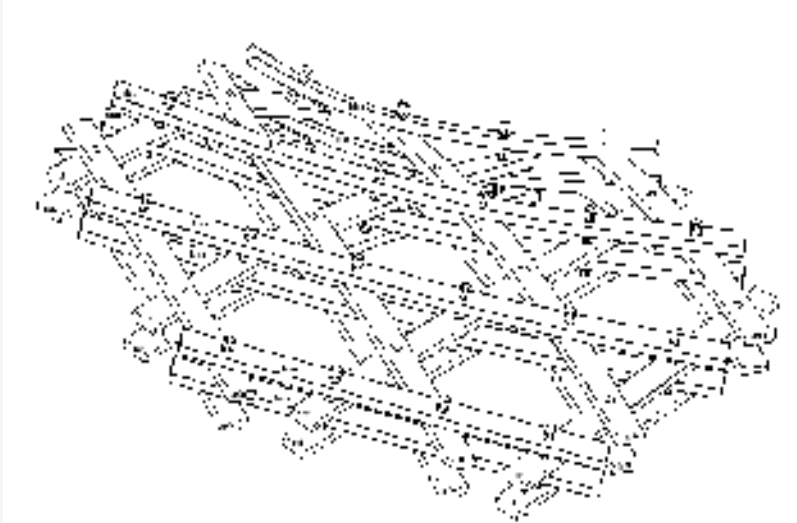
Les variantes



Ces solutions ne correspondaient pas à la conception architecturale

La variante retenue

Enfin...



Principe: 3 double couches de planches lamellé collé, sections rectangulaires,
planches fraisées pour réaliser la géométrie

La variante retenue

Spécifications:

- 3 double couches de planches **lamellé collé**
 - section des planches 14/24 cm
 - en majorité GL 24h
 - chaque planche travaillée sur la ligne de taillage – tous les contours fraisées
 - pièces brutes, section plus grande que celle de la planche finie
 - 3 types de pièces brutes:
 - planche lamellé collé droite
 - planche lamellé collé cintrée dans un sens
 - planche lamellé collé cintrée en deux sens
- Type de pièce brute déterminé en fonction de la courbure et en fonction de la découpe de fibre du bois (max. 5°)
- connexion des couches des planches: noeud précontraint en LVL hêtre
 - entretoises en LVL entre les planches pour le transfert des efforts tranchants

La variante retenue

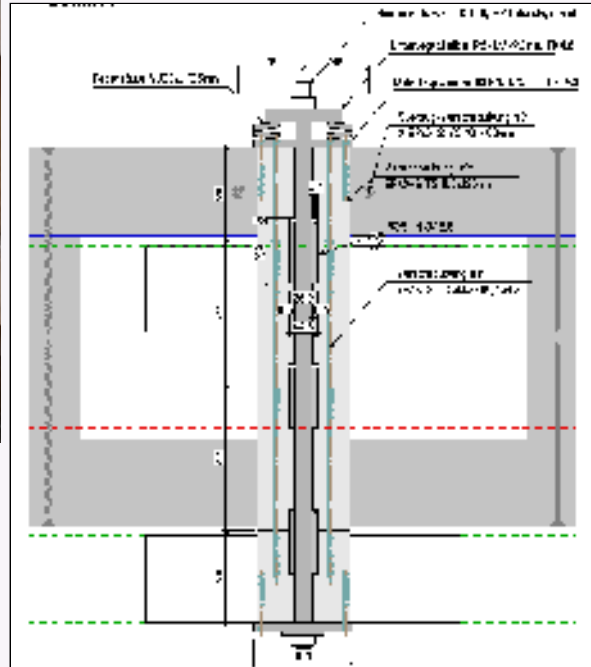


Noeud précontraint

Tige filetée avec ressorts

→ Transmission moments de flexion

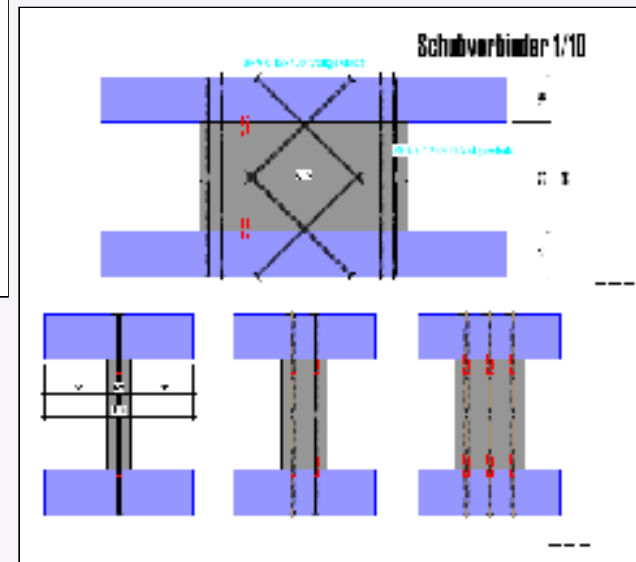
et efforts transversaux par frottement noeud sur noeud



Entretoise

Bloc en LVL vissé entre les planches

→ Transmission de l'effort tranchant entre la planche supérieure et inférieure



La variante retenue

Avantages:

- économiquement intéressant
- moins de matériel → moins de poids (charge dominante pour ce projet)
- pas de collage sur chantier
- pas de moules sur chantier nécessités, que supports locaux pour la pose
- pose planche par planche, couche par couche, pas d'éléments pré-assemblés
- géométrie des planches réalisée par fraisage des planches
 - précision élevée par rapport aux planches cintrées lors du montage



La charpente bois

Statistiques :

- Surface de toiture $\sim 8500 \text{ m}^2$
- Lamellé collé $\sim 1000 \text{ m}^3$
 - = 18.000 mètres courants
 - = 1600 planches
- Noeuds en LVL ~ 15.000 pièces
- Entretoises LVL ~ 8000 pièces

Entreprise Générale: **Demathieu & Bard**, France

Sous-traitant charpente bois: **Holzbau Amann**, Germany

Bureau d'études bois: **SJB**, Suisse

Consultant études bois: Dominique Calvi

La charpente bois

2 échantillons ont été construits



premier échantillon (12x12m)



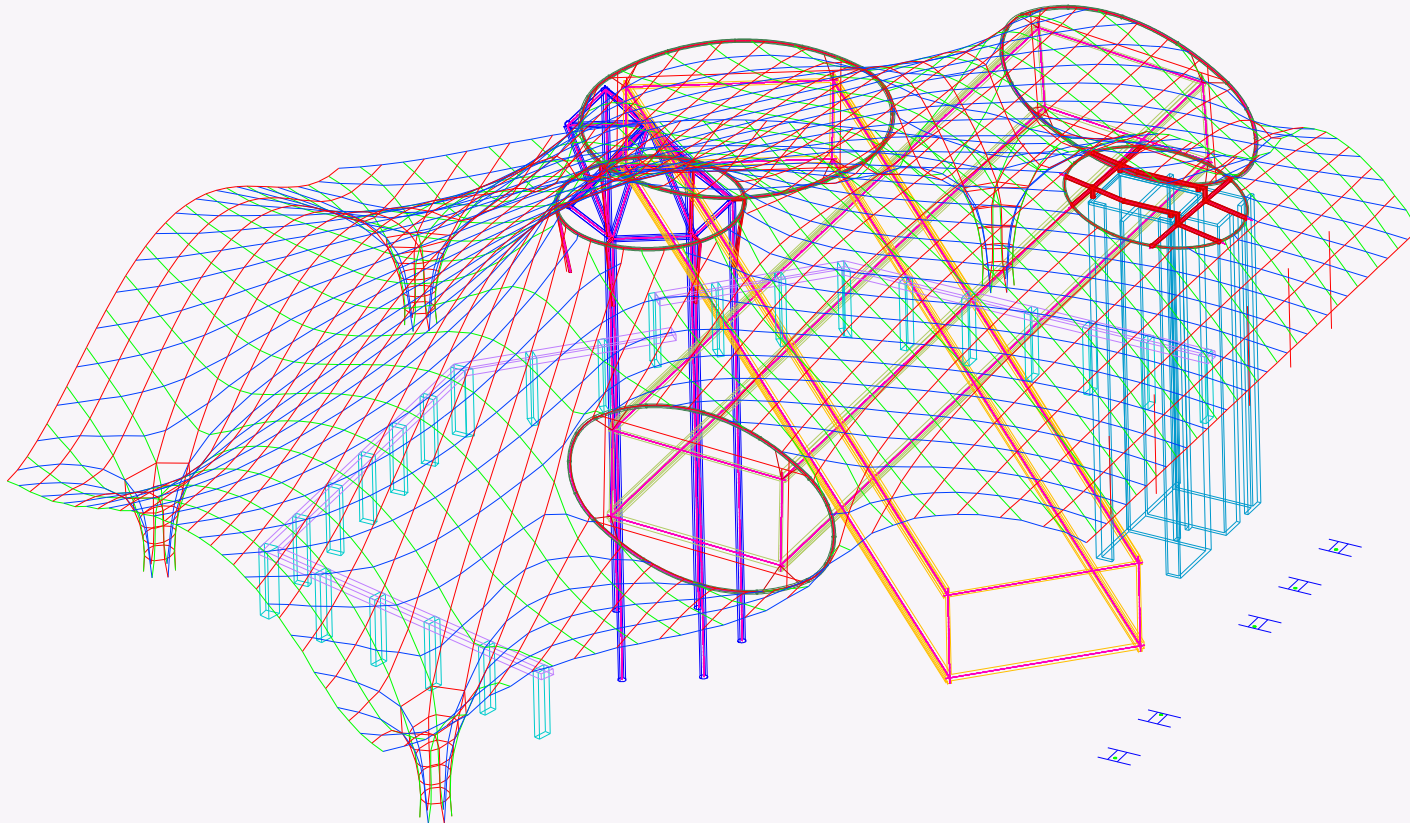
deuxième échantillon (9x9m) sur chantier



premier échantillon lors de la pose de la première pierre

La géométrie

Point de départ: modèle 3D de l'appel d'offre en fichier dxf



Pas directement exploitable pour la modélisation (calcul + préparation de travail)

→ pas suffisamment précis

→ seuls les points fixes (supports, etc.) étaient exploitables

La géométrie

Modèle 3D en fichier dxf/dwg ne fournit que des **discretisation** des lignes de système

→ n'est pas capable de dessiner des vraies courbes

→ n'est pas capable de dessiner une surface "libre"
(“freeform surface”)

L'emploi d'un autre logiciel était indispensable

Logiciel **RHINO**:

→ parfaitement adapté pour précisément dessiner des surfaces „libres“

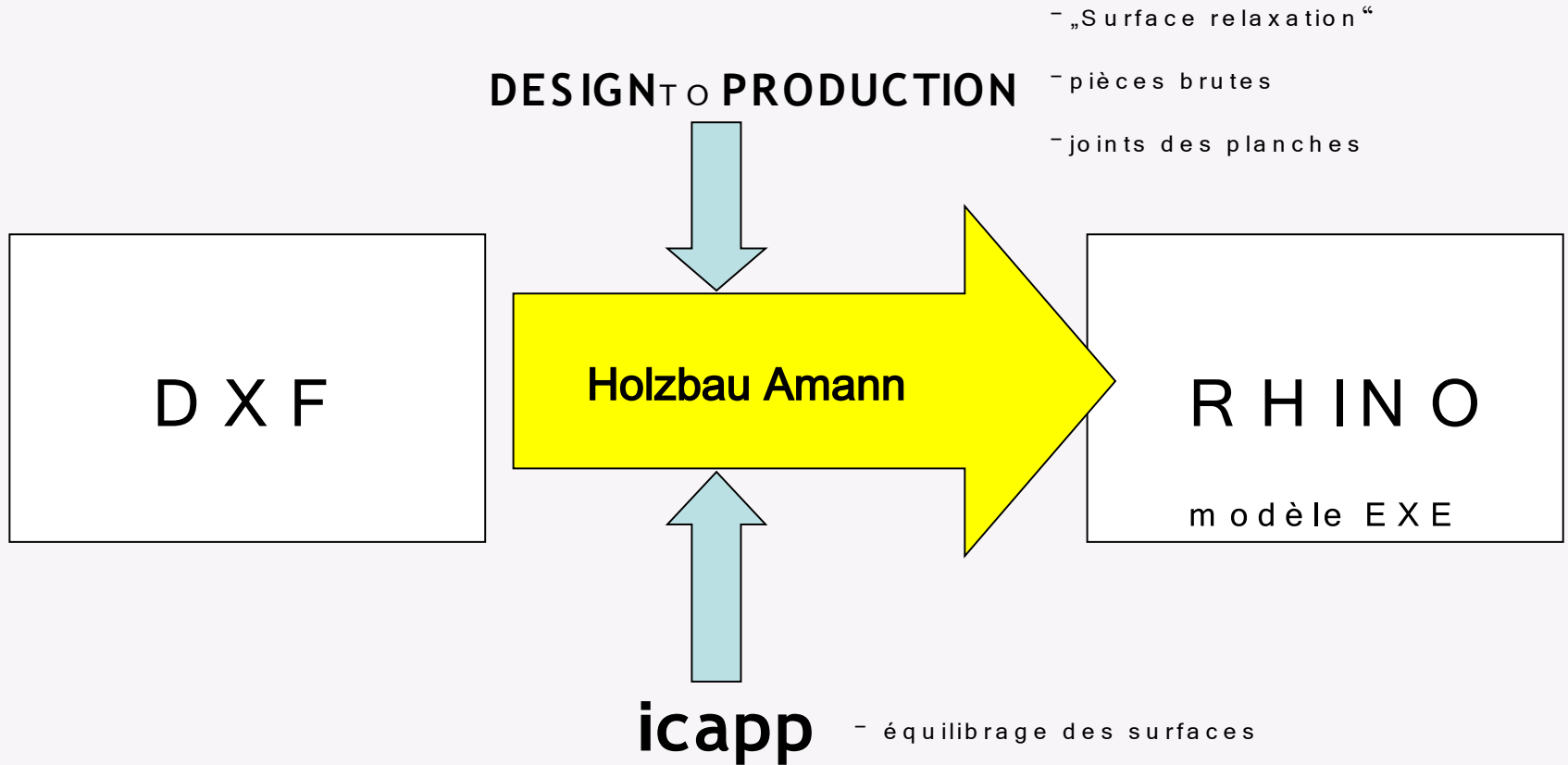
→ a déjà fait ses preuves pour le projet Chesa Futura

→ facile à apprendre et à gérer

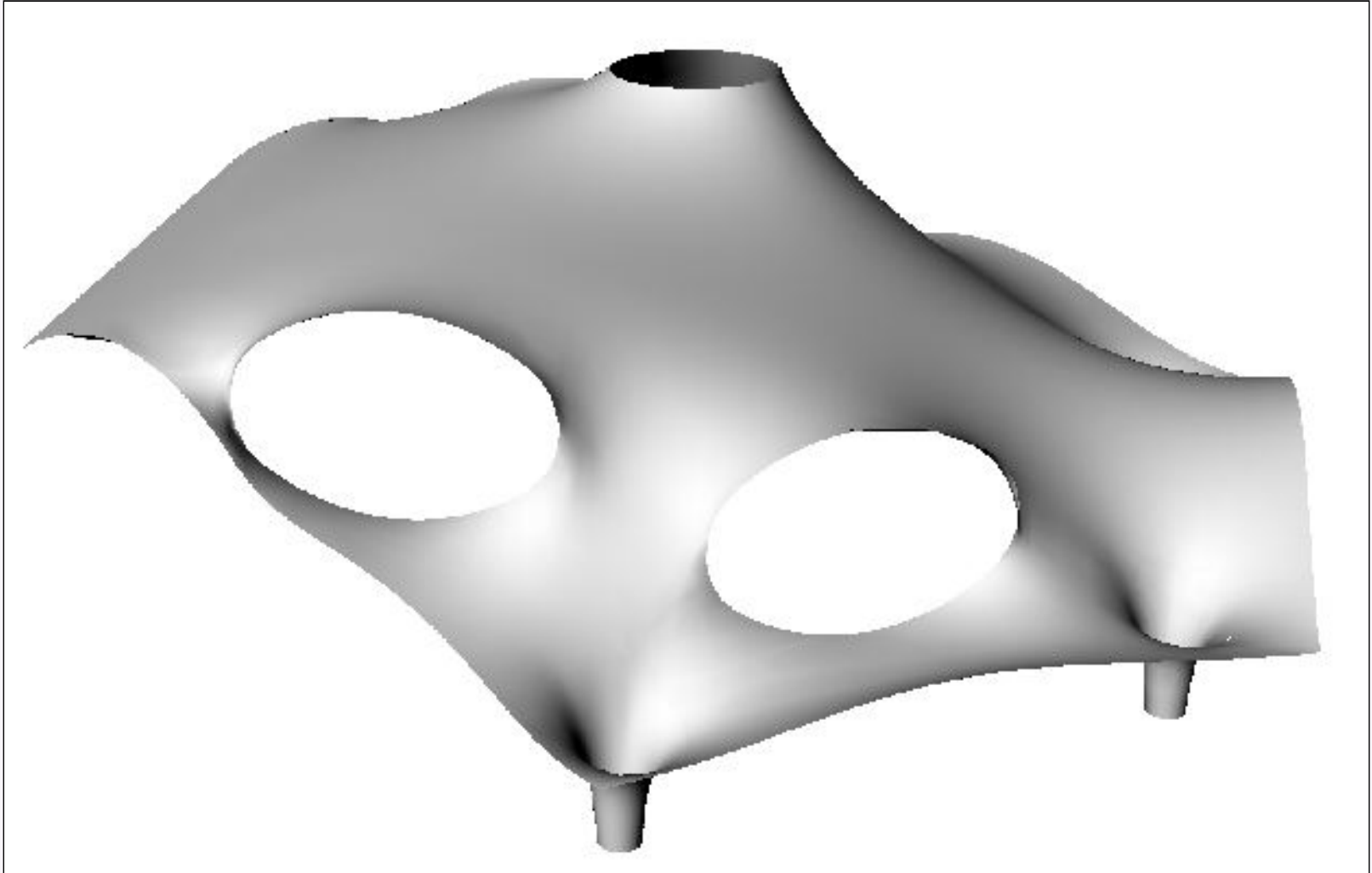
→ logiciel ouvert pour des modifications et pour des logiciels

supplémentaires, implantés

La géométrie

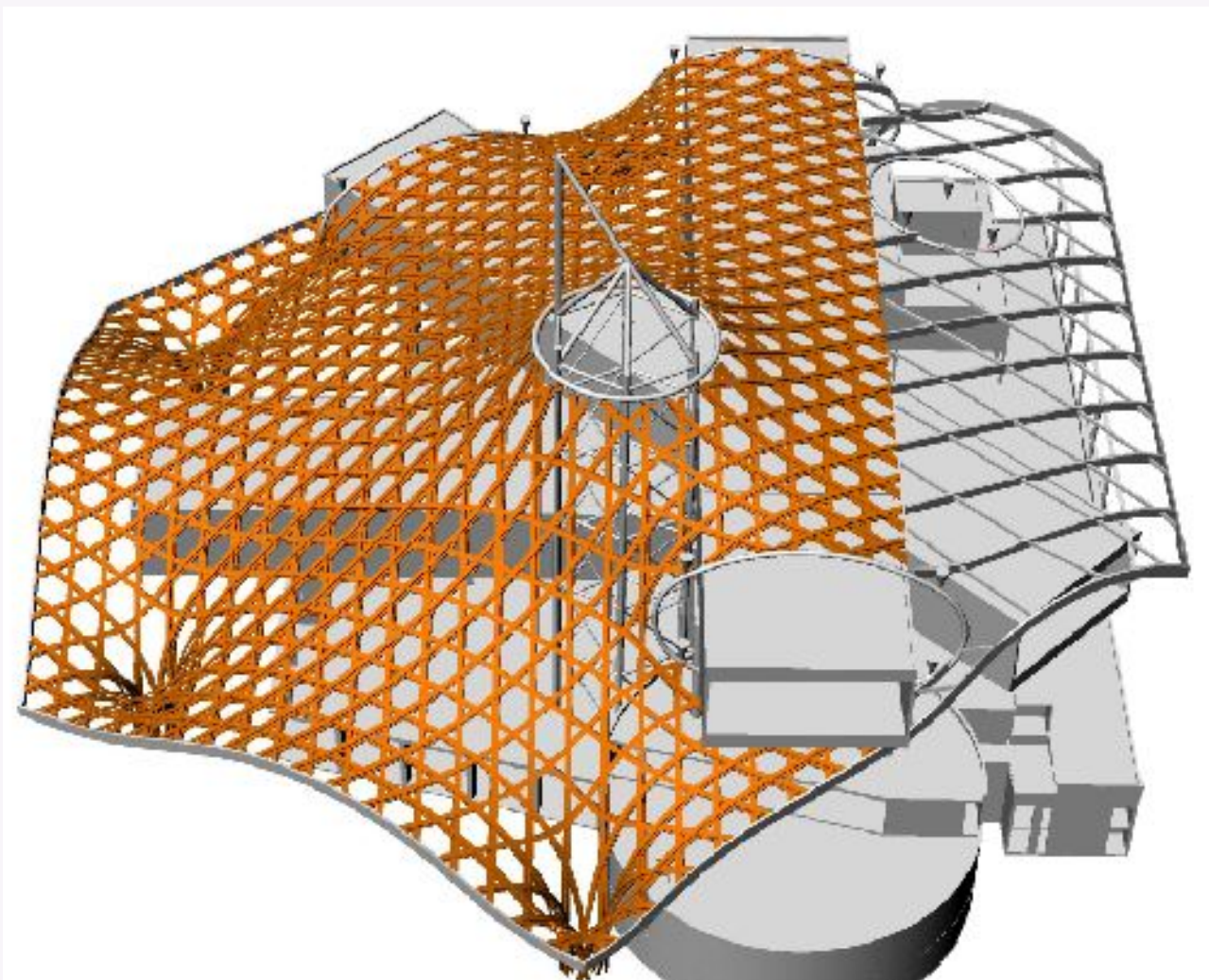


La géométrie



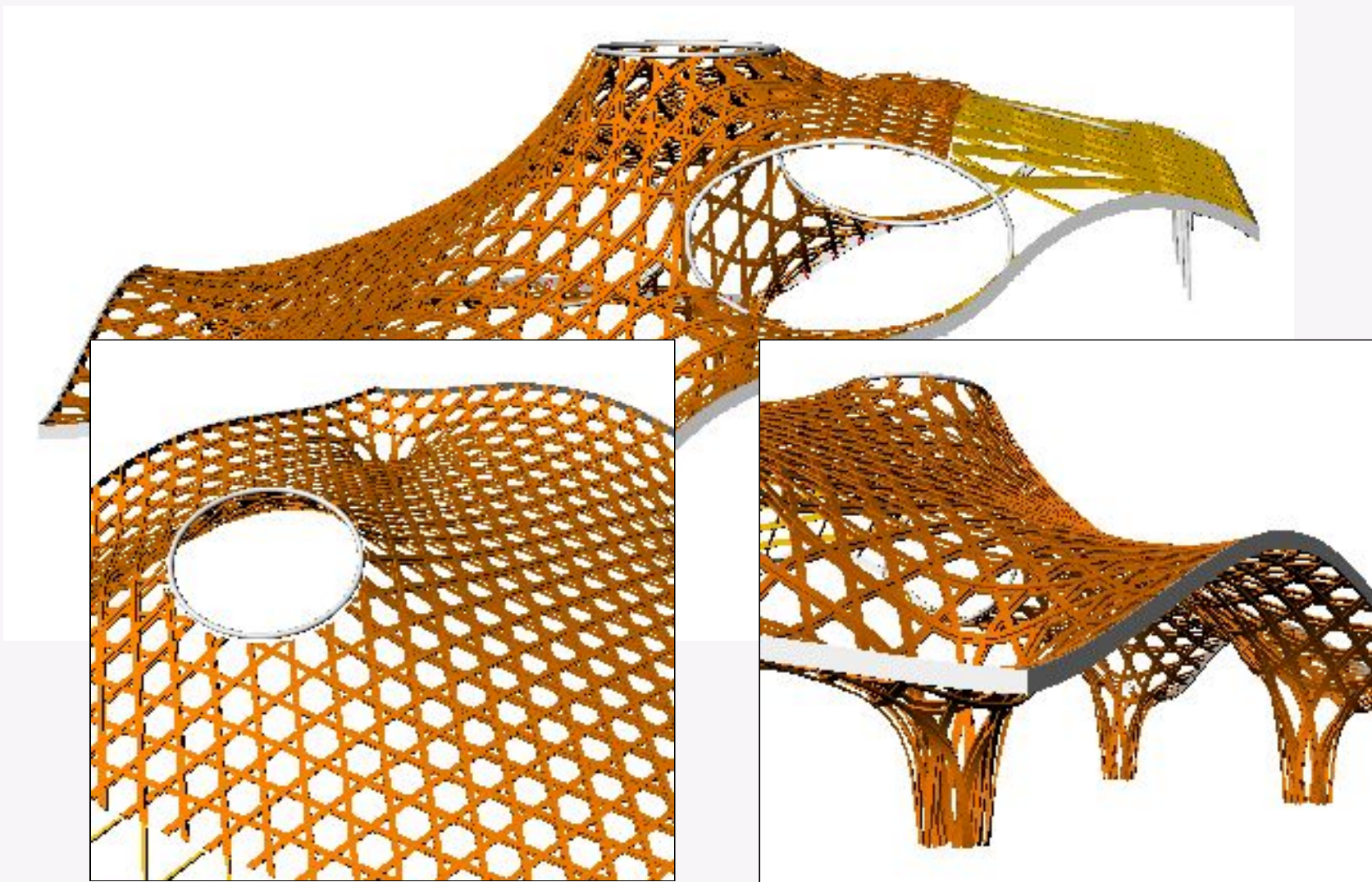
surface équilibrée

La géométrie



Modèle Exe Rhino

La géométrie

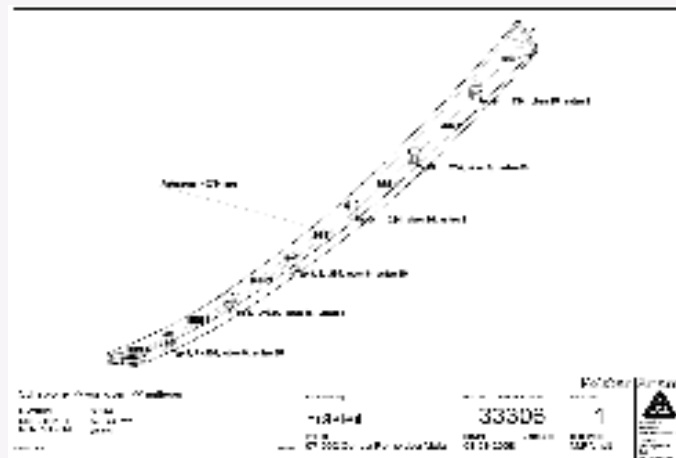


La préparation de travail

Chaque planche est modélisée dans Rhino

Des logiciels programmés spécialement pour le projet y mettent :

- la pièce brute
- les joints des planches
- les assemblages
- ajustent la pièce pour la ligne de taillage
- produisent la liste de production et les dessins de production (que pour contrôle)

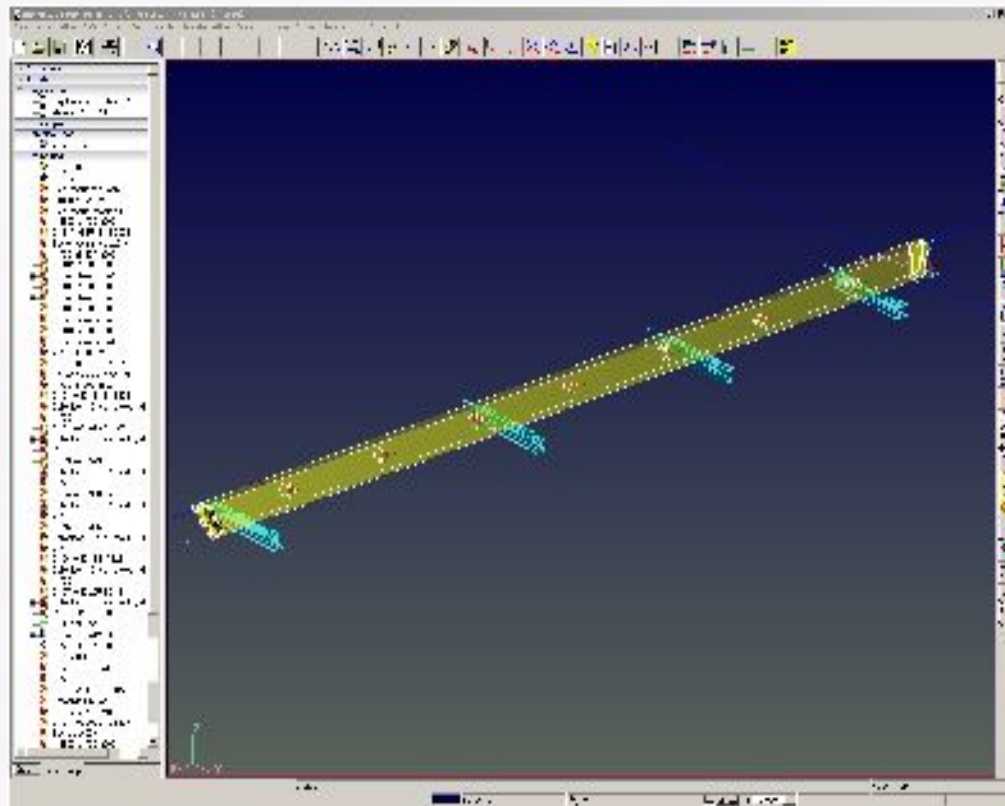
[illegible]

La préparation de travail

Le modèle 3D de chaque planche (pièce brute et pièce finie) est exporté de RHINO dans le logiciel PEPS

PEPS → CAM system (Computer Aided Manufacturing)

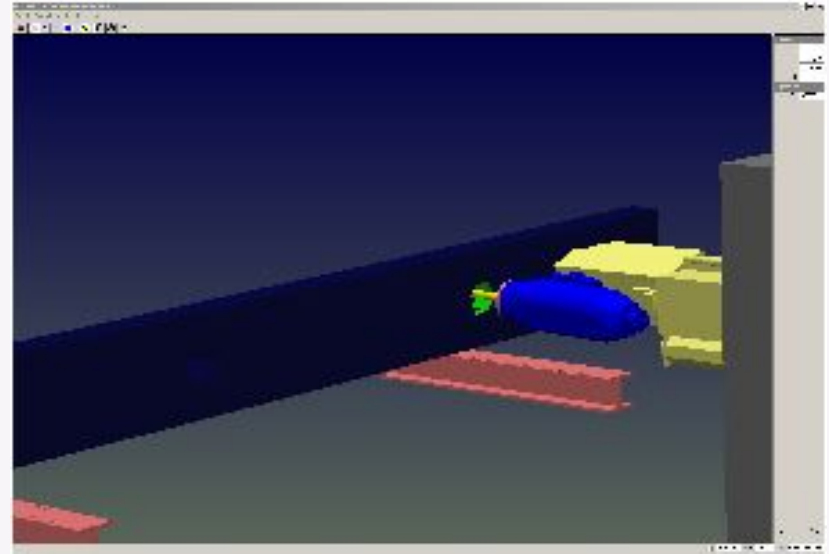
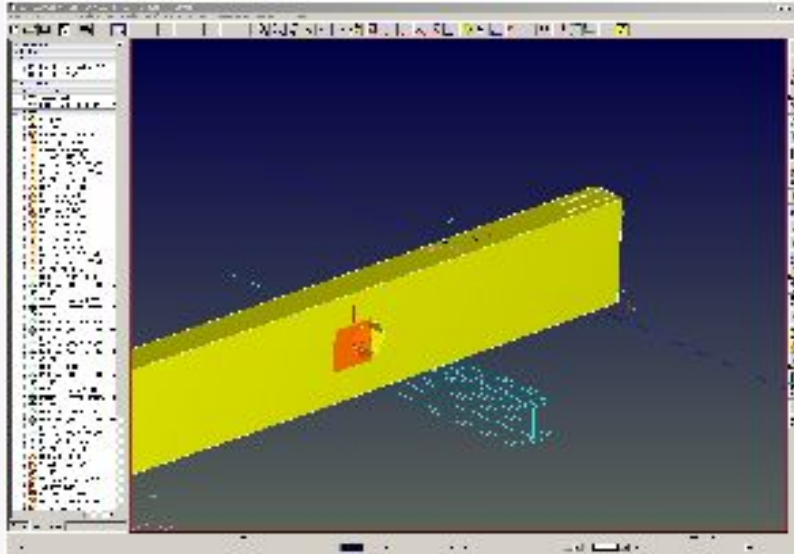
logiciel de la ligne de taillage



La préparation de travail

Le logiciel PEPS est doté d'un interface graphique

- les points pour le fraisage des noeuds, les percements, etc. sont automatiquement définis par le logiciel.
- les commandes pour la ligne de taillage sont calculées et générées automatiquement par le logiciel
- à partir du modèle de la pièce brute et de la pièce finie, PEPS calcule les commandes pour la ligne de taillage et les génère automatiquement
- le taillage est simulé dans le logiciel
- des erreurs éventuelles peuvent être trouvées avant que la pièce soit sur la ligne !



Le taillage



fraisage des contours des planches



Le taillage



fraisage des réservations des noeuds

fraisage pour les plaques en acier des
connexions longitudinales



Le taillage



collages des noeuds

plaques de connexion installées



Le taillage



Le taillage



assemblage „à sec“ dans l'usine pour contrôle
sur 50 mètres: 2mm de tolérance en longueur (!)

Chiffres du taillage

→ lamellé collé planches

~ 1 400 m³ pièces brutes

~ 900 m³ planches finies

~ 18 000 mètres courant

~ 1 600 planches

→ temps prévu pour le taillage

~ 10 mois

→ début du taillage

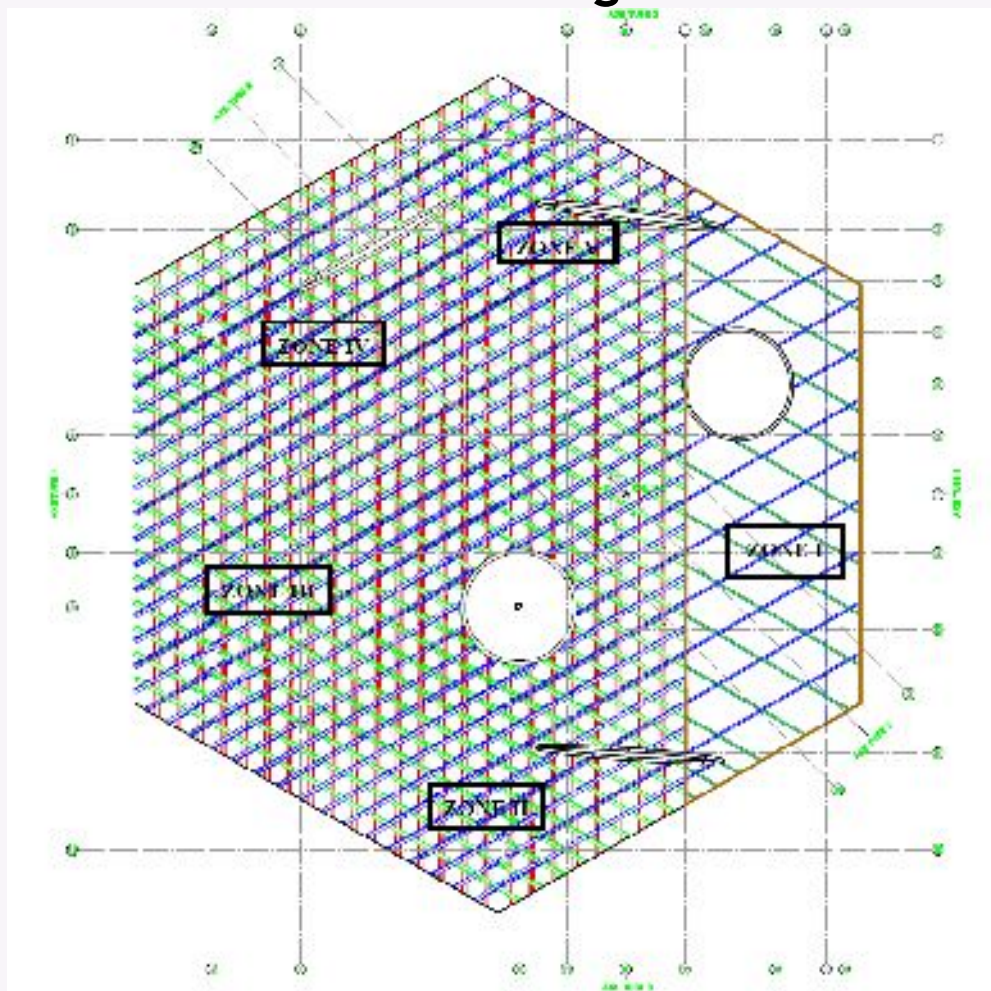
juillet 2008

→ montage

~ février 2009

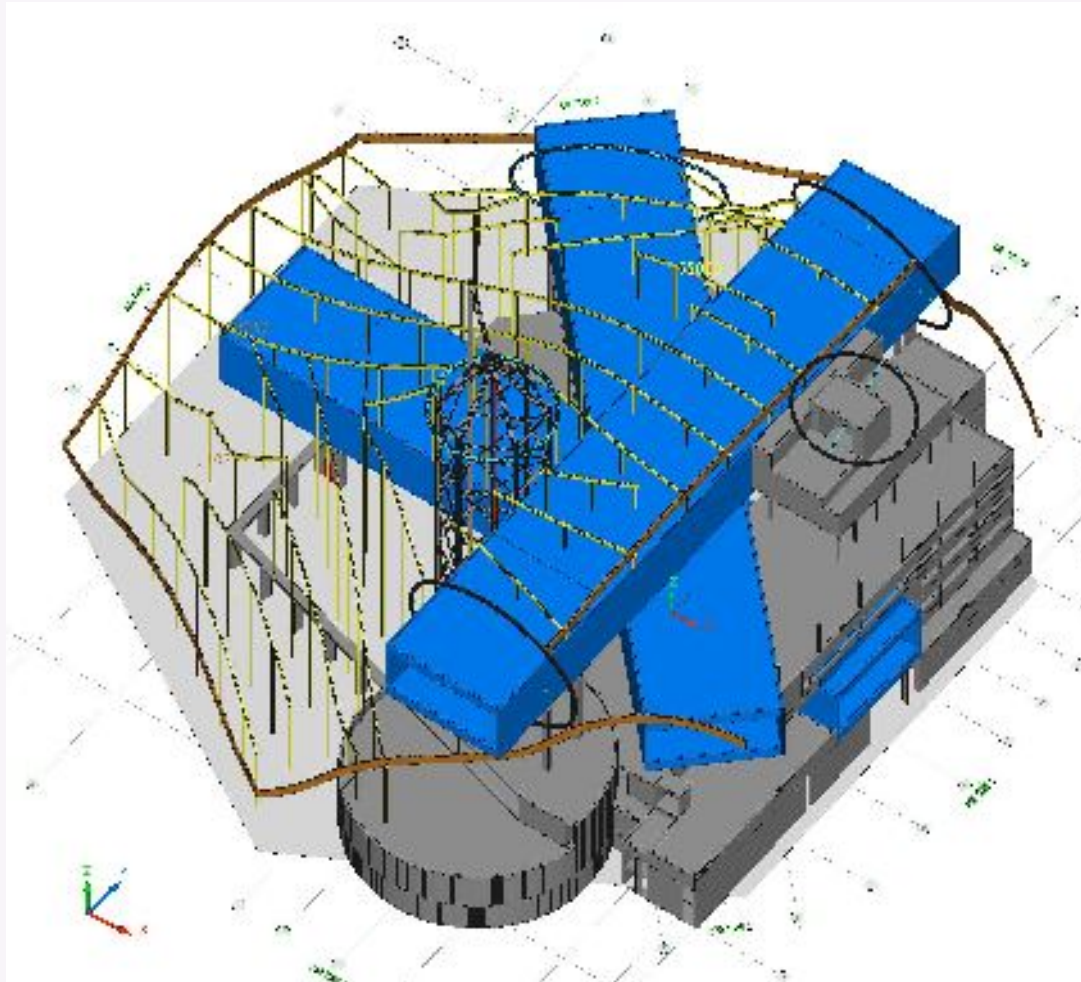
~ 3 mois

Le montage



Les zones de montage – montage d'une zone après l'autre

Le montage



Travail précédent – installation des supports de montage zone par zone

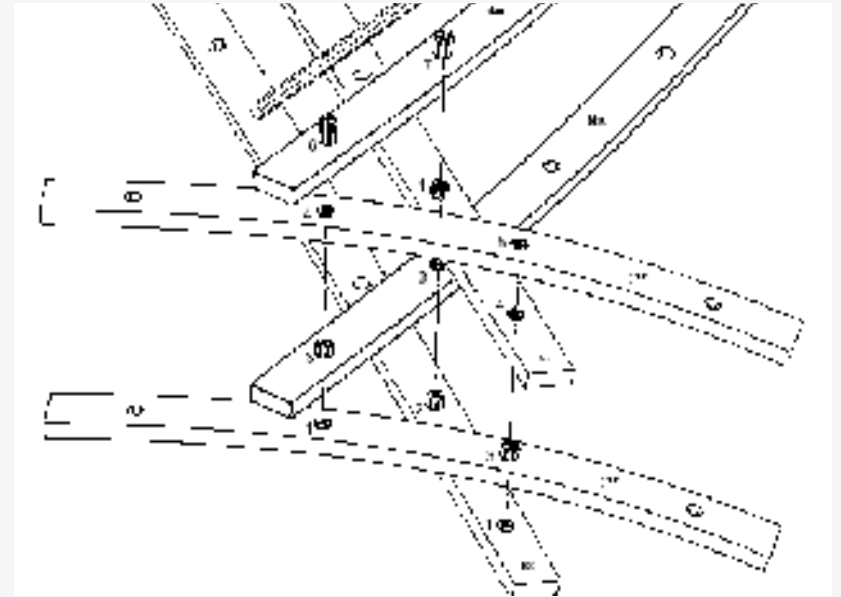
Le montage

Principe de montage:

- zone par zone
- planche par planche
- couche par couche
- installations des supports et des poteaux
- installation et fixation temporaire des planches
- installation des entretoises
- mise en oeuvre de la précontrainte après l'installation de la dernière couche
- passage à la zone suivante

Cependant, dans la zone finie,

la membrane est installée



The Centre Pompidou Metz



Merci pour votre attention