

Multipurpose Hall Annen, Recherche et Conception

Prof. Yves Weinand
Laboratoire des Constructions en Bois
IBOIS EPFL
Lausanne, Suisse



1. Introduction

En 2014, l'entreprise Annen situé à Manternach au Luxembourg planifie la construction de son nouveau siège mettant en œuvre des formes doublement courbées et réalisées en matériau bois. L'auteur propose alors d'éviter toute structure primaire et secondaire en bois lamellé collé et d'envisager de faire intervenir l'entreprise Annen elle-même pour la construction de la structure portante de son propre bâtiment en s'appuyant sur les nouvelles technologies de la découpe automatisée. Pour cette occasion, les nouvelles méthodes de constructions en bois développés au laboratoire des constructions en bois, IBOIS, de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL, peuvent alors être appliqués en première dans le cadre d'une convention de transfert technologique signée entre l'EPFL et l'entreprise Annen Plus SA. Le projet est porté par l'association momentanée des architectes Yves Weinand (Liège) et Valentiny hvp (Remerschen) et la structure portante en bois est dimensionnée par le bureau d'Etudes Weinand (Liège).

La halle, d'une surface totale de 5800 m², est composée de vingt-trois arches réalisées exclusivement en caissons en panneaux multipli hêtre mesurant entre six et neuf mètres de large et ayant des portées variant de 22,5 mètres à 53,7 mètres. L'enveloppe du projet d'une épaisseur totale de 65cm est à la fois structurelle, spatiale et thermique.

2. Prémises

2.1. Evolution des joints bois-bois

Les recherches du laboratoire Ibois sont concentrées depuis plusieurs années sur l'optimisation des connexions intégrés bois-bois et ce à partir d'un constat simple : structurellement parlant les nœuds et liaisons sont reconnus comme étant les points mécaniquement faibles d'une structure portante, autant les intégrer dans la conception d'ensemble de la structure de façon directe et indissociable à aide d'un seul modèle paramétrique comprenant les deux. Ceci ayant comme conséquence que les séquences d'assemblage et de montage de la structure sont également prescrit et arrêté de façon définitive et déterminée pour chaque pièce appartenant à l'ensemble.

Historiquement, ce type de joint était entièrement réalisé à la main. À l'ère de l'industrialisation, ils furent peu à peu remplacés par des connecteurs métalliques ou de la colle, puis produits à l'aide de machines à découpe automatisée. Mais la typologie des joints et la typologie des structures portante en bois ne fût pas adaptée au potentiel de ces nouveaux outils. C'est ici qu'interviennent les lignes de recherche menées par le laboratoire Ibois associant forme globale de la structure, nouvelle méthode de construction en bois et typologie des joints intégrés, adaptés et fabriqués sous forme d'automatisation.

Aujourd'hui, grâce à la conception assistée par ordinateur (CAD) et la conception à la fabrication (CAM), la fabrication de joints bois bois de natures multiples et de grande quantité est devenu économiquement viable en utilisant des pièces porteuses de petits formats destinée à franchir des portées à grande échelle.

2.2. Les premières réalisations

L'IBOIS a mené des recherches sur les structures dites plissées depuis 2006. Composée de panneaux de bois, l'assemblage de telles structures est possible en définissant les directions des vecteurs d'insertions de chaque panneau conditionnant ainsi la typologie des joints. Le premier bâtiment issu de ces recherches fut la chapelle Saint Loup à Pampaples suivi du prototype constituant une structure plissée, réalisé en panneaux en bois et fabriqué à partir d'un seul modèle paramétrique comprenant le descriptif complet des connexions bois bois fut érigé à l'Ibois en 2011. Il s'agissait d'une voûte simplement courbée. Par la suite, le même prototype a été produit, cette fois en introduisant également une courbure longitudinale et donc une voûte doublement courbée. Cette courbure longitudinale avait comme conséquence que l'ensemble des connecteurs varie également, ils sont donc tous géométriquement différents.

En 2013, le laboratoire présentait le Pavillon de Mendrisio à l'occasion de l'exposition « The Timber Project ». Le design des joints en queue d'aronde mis en œuvre pour ce projet était capable de bloquer les cinq degrés de liberté, sans utilisation de connecteurs métalliques.

En 2014, le laboratoire met au point un prototype doublement courbé et à double nappe cette fois, uniquement lié à l'aide de connecteur bois bois. Enfin, en 2017 un transfert technologique de ce modèle paramétrique vers une réalisation concrète aboutit à la construction du Pavillon en bois du théâtre de Vidy.



Figure 1 : Pavillon du Théâtre de Vidy à Lausanne : une structure double nappe entièrement en bois d'une portée de 22m

3. Le projet à Manternach

3.1 Eladio Dieste

Le projet Annen s'inspire des voûtes à double courbure en maçonneries d'Eladio Dieste, conçues entre 1977 et 1979 pour la Port Warehouse à Montevideo. Là où Dieste utilisait des éléments unitaires de même dimension (les briques) et obtenait la double courbure en jouant sur l'espace laissé entre chaque élément et comblé par du mortier, la Halle de Manternach propose de générer la courbure directement grâce à la forme des caissons qui la composent. Chaque caisson est unique et possède un emplacement spécifique au sein de la structure.

Autre différence notable, les voûtes de Dieste reposaient sur des murs en béton, alors qu'à Manternach, elles descendent jusqu'aux fondations.

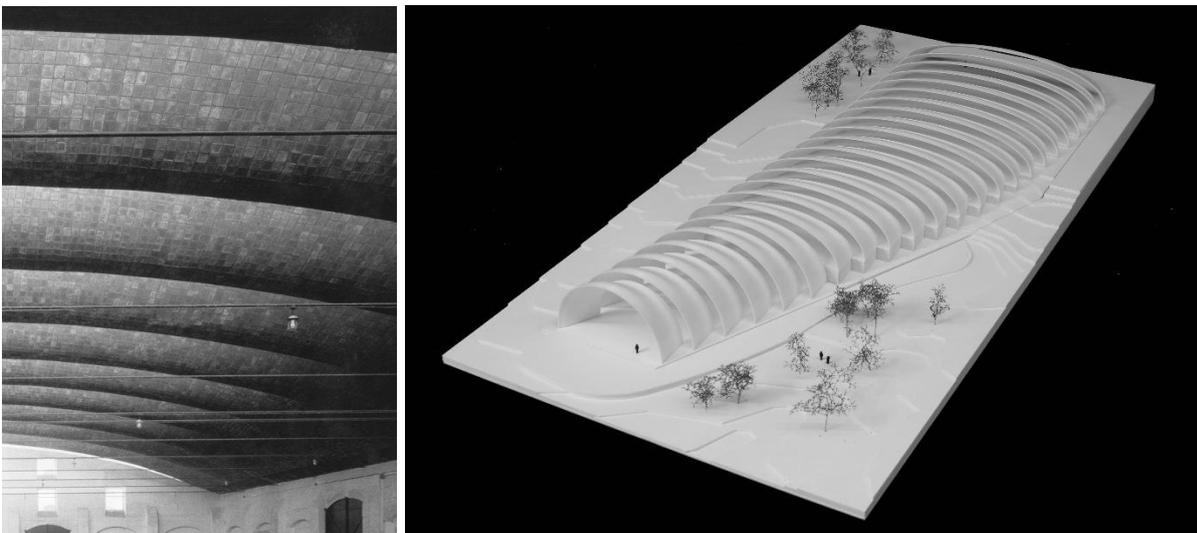


Figure 2 : Gauche : Port Warehouse, E. Dieste 1979, Droite : maquette Multipurpose Hall, Y. Weinand 2016.

3.2. Modèles physiques et numériques

L'Etude de cette structure complexe se fait parallèlement à travers la réalisation de prototypes et la simulation numérique. Pour les prototypes, le choix du matériau se porte sur du lamibois en hêtre de 40 mm d'épaisseur. Le premier prototype laisse voir les nombreux ajustements encore nécessaires et permet de comparer pour une première fois l'efficacité et la cohérence entre les modèles numérique et physique.

Sur la base du modèle tridimensionnel, le modèle numérique développé applique un maillage général initial au projet, qui a permis la génération de structures doublement courbées. Le projet est ainsi –dans un premier temps– segmenté en plaques, assemblées selon la direction des vecteurs d'insertions. Ces panneaux ont ensuite été dédoublés pour créer une double nappe capable d'accueillir l'isolation. Au cours de ces étapes successives, plusieurs systèmes d'assemblages ont été étudiés pour assurer la cohérence de ces caissons, et finalement la solution d'utiliser un chemin d'assemblage unique a été retenue.

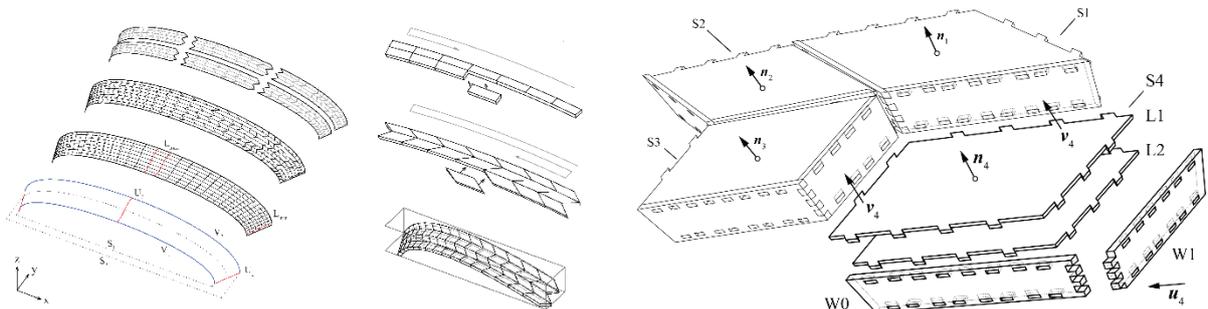


Figure 3 : Ci-dessus : Génération du maillage, simple puis double nappe, détail d'assemblage des caissons.

Un nouveau prototype, d'un fragment d'arche a été réalisé en 2016, avec des panneaux de 15mm d'épaisseur. En 2017, un troisième prototype d'une arche entière à l'échelle 1:2 voit le jour, réalisé cette fois avec les panneaux lamibois de 40mm d'épaisseur, soit les panneaux définitifs.



Figure 4 : Prototype 2 2016 Ibois/Annen



Figure 5 : Prototype 3 2017 Ibois/Annen

4. De la conception à la réalisation

4.1. Etudes complémentaires et optimisation du modèle

Afin de réaliser l'analyse structurelle, le plugin CAD qui génère la géométrie 3D ainsi que les fichiers de fabrication a dû être modifié en une géométrie CAD-FEA. Cette nouvelle géométrie a ensuite été importée dans le logiciel d'éléments finis, lequel permet de modéliser les connexions bois-bois, de tester la rigidité des assemblages, d'en optimiser la géométrie.

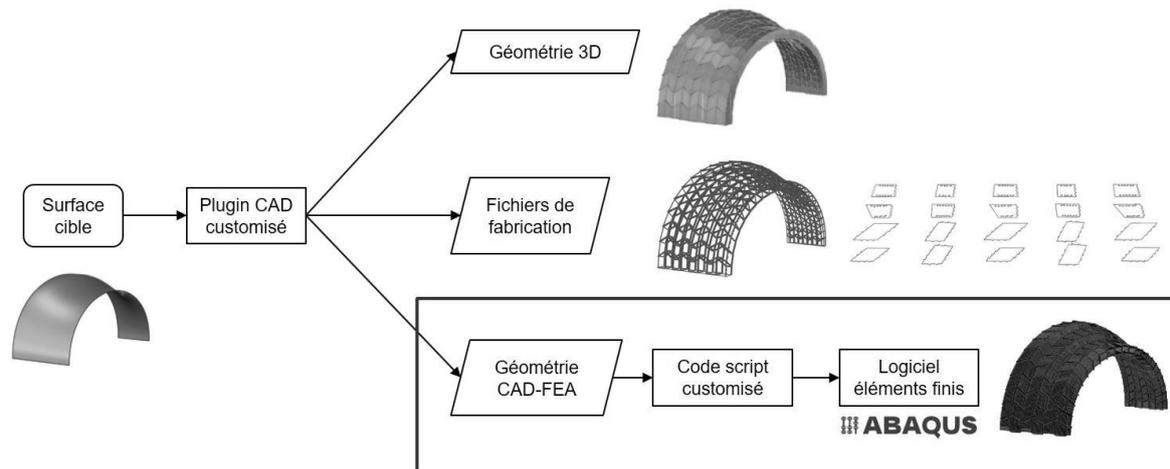


Figure 6 : Organigramme de transmission des données ; Ibois

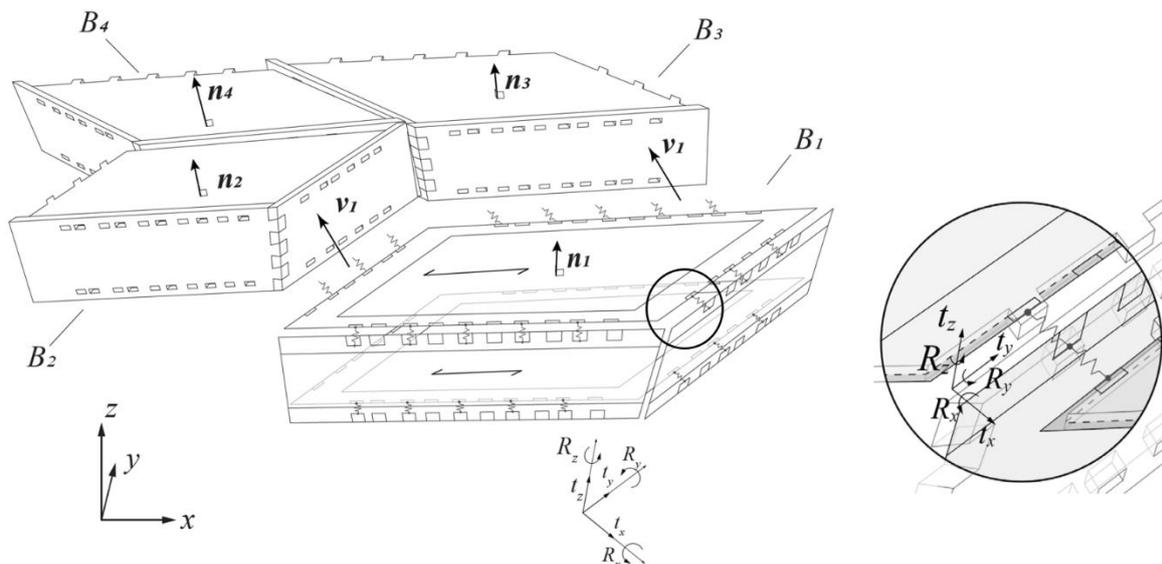


Figure 7 : Illustration du modèle numérique dans lequel les connexions sont modélisées par des ressorts

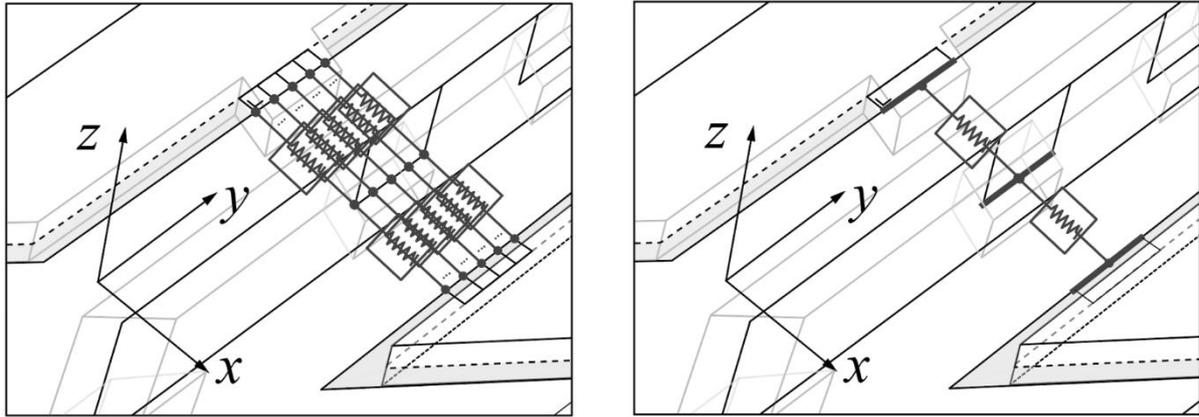


Figure 8 : Gauche : modèle avec ressorts distribués le long des tenons, Droite : modèle avec couplage entre le bord du tenon et son milieu connecté par un ressort

Afin de déterminer les valeurs de rigidité à implémenter dans le modèle, des tests ont été réalisés sur les connexions bois-bois. Des tests de flexion trois points sur un assemblage de 5 par 3 boîtes ont également été réalisés afin de vérifier la validité du modèle numérique développé.

4.2. Définition des composants

Pour assurer une coordination efficace avec l'entreprise Annen, la génération automatique des arches se fait suivant plusieurs étapes. Grâce au maillage précédemment généré et étudié sur l'ensemble de la structure, chaque caisson peut être défini avec précision. Les fichiers de fabrication 2D sont générés pour chaque panneau composant les caissons (un caisson est composé de quatre panneaux).

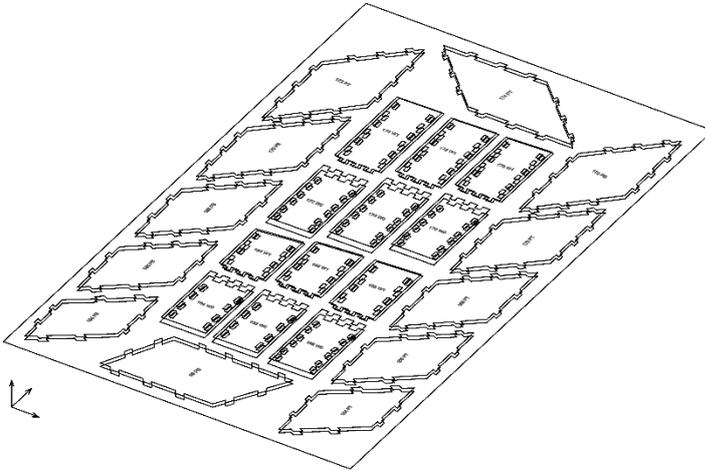


Figure 9 : Pavetage de la structure ; Ibois

La préfabrication des panneaux est ainsi automatisée grâce à une machine-outil à commande numérique, qui découpe avec précision chaque composant unique. Le modèle numérique s'avère là-encore indispensable pour l'intégration des détails complexes tels que les supports (plaques métalliques sur lesquelles viennent se fixer les caissons au sol), les ouvertures et les casquettes. Ainsi l'ensemble de la conception est automatisé à l'aide d'un seul modèle paramétrique pour l'ensemble des 23 arches.

La préfabrication des panneaux est ainsi automatisée grâce à une machine-outil à commande numérique, qui découpe avec précision chaque composant unique. Le modèle numérique s'avère là-encore indispensable pour l'intégration des détails complexes tels que les supports (plaques métalliques sur lesquelles viennent se fixer les caissons au sol), les ouvertures et les casquettes. Ainsi l'ensemble de la conception est automatisé pour les 23 arches.

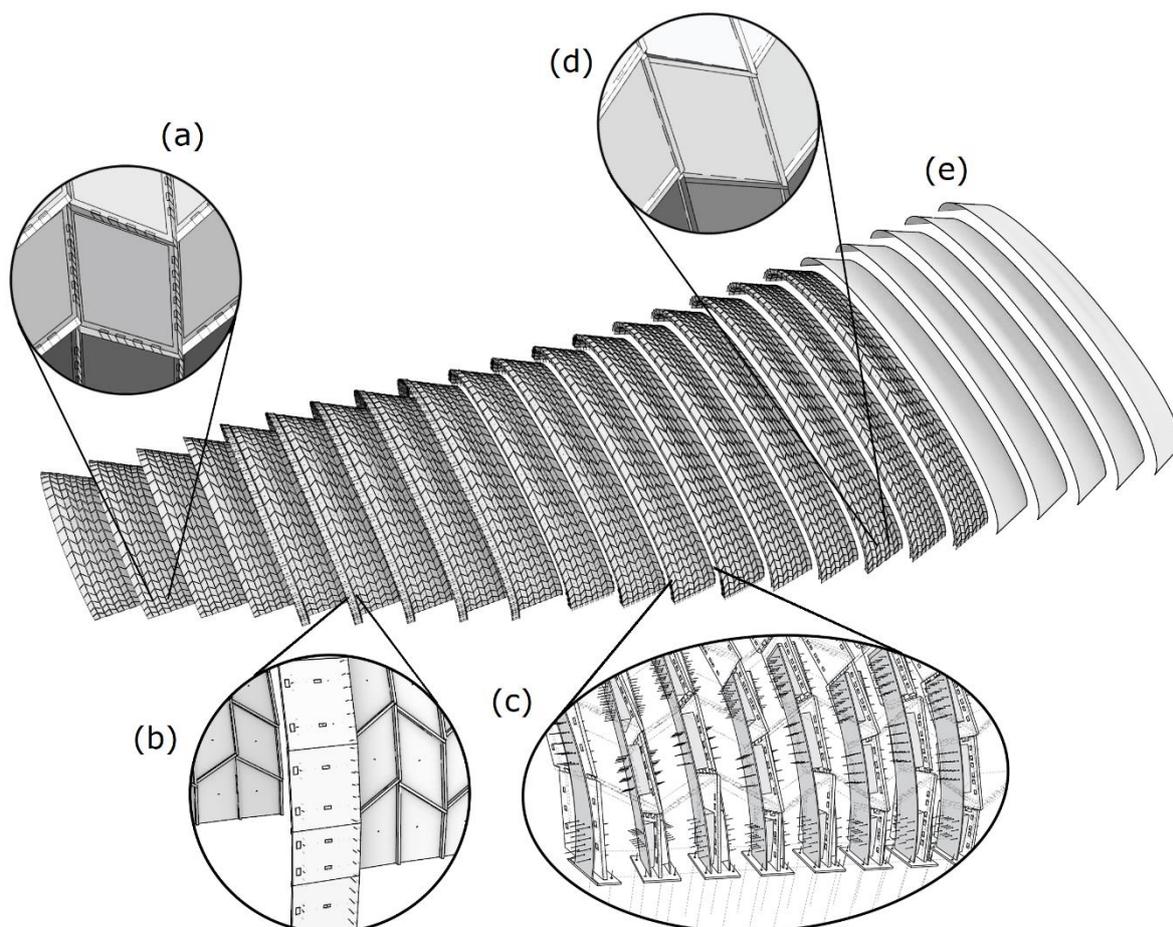


Figure 10 : Génération des arches du projet (a) géométrie CAD-FEA (b) casquettes en bois (c) supports métalliques (d) géométrie 3D (e) surfaces cibles

5. Le chantier

En 2018, un prototype à l'échelle 1:1, de 24 mètres de portée, a été réalisé sur le site. Et depuis 5 arches sur 23 ont été définitivement monté sur le site à Manternach.



6. Conclusion

Le projet de la Multipurpose Hall repousse les frontières de la construction en bois par l'application de nouvelles méthodes de conception, de fabrication et d'assemblage. Grâce à la transmission des données de conception (modèle paramétrique) vers l'espace de fabrication (code CNC découpe automatisé) un bâtiment en bois d'une dimension inégalée est sur le point de voir le jour.

Outre ses avantages mécaniques, cette méthode de construction à liaisons bois-bois présente de nombreux avantages écologiques.