

L'auditorium Éphémère Grand Palais

Steven WARE
ArtBuild architectes
Paris, France



Kevin GUIDOUX
Artbuild architectes
Paris, France



Anne LEMIEUVRE
Artbuild architectes
Paris, France



L'utilisation de panneaux de CLT dans la construction a permis à la filière bois d'être de plus en plus intégrée dans la conception architecturale de ces dernières années. Habituellement utilisé sous forme d'éléments plats remplaçant la maçonnerie conventionnelle, le panneau de CLT peut être transformé. En effet, les outils de CAO paramétrique permettent d'explorer différentes configurations. Le but de cette étude est d'explorer la possibilité d'application du Lattice Hinge, méthode de cintrage à froid, aux panneaux de CLT pour permettre à une courbure d'être insérée de manière paramétrique. Nous explorons au sein d'AB_Lab, laboratoire de recherche d'ArtBuild, des applications structurelles en vue de recycler les panneaux CLT d'un bâtiment en fin de vie. Ces recherches révèlent de nouvelles pistes créatives, dont beaucoup sont inspirées de structures trouvées dans la nature. Par ailleurs, les méthodes d'usinage CNC et les techniques de transport à plat induisent des cycles de production à faible émission de carbone.

Un premier prototype grandeur nature, le Nautille Silvestre, réalisé pour les Démonstrations Forestière dans le cadre de la Foire de Libramont (Belgique) en 2019, nous a permis pour la première fois de supporter une vingtaine de personnes et ainsi de comprendre le comportement mécanique des panneaux cintrés.

Le théâtre éphémère est une évolution issue de ces recherches au sein de l'agence ces dernières années sur les potentielles applications du CLT cintré.

1. Introduction

1.1. Qu'est-ce que le Lattice Hinge ?

Le *Lattice Hinge* est une méthode inspirée du kerfing, une technique pratiquée par les luthiers pour cintrer le bois à froid dans le but de confectionner librement les courbes des instruments de musique.

Tout comme la méthode du kerfing, le *Lattice Hinge* permet de cintrer le bois en réalisant des rainures disposées en quinconces dans la profondeur du bois, pour l'affiner localement et lui prêter une plus grande souplesse. Ce motif fait apparaître des "jambes de torsion" qui peuvent (pivoter) sans se rompre.

L'expression du motif est établie afin de respecter l'équilibre entre besoins structurels et rayon de courbure. En effet, les rainures sont nécessaires dans la partie cintrée du panneau laissant aux extrémités des rives lisses assurant la stabilité.



Principe du *Lattice Hinge* ©ArtBuild
Maquette en MDF 8 mm d'épaisseur.

1.2. L'émergence d'une technique, état des lieux

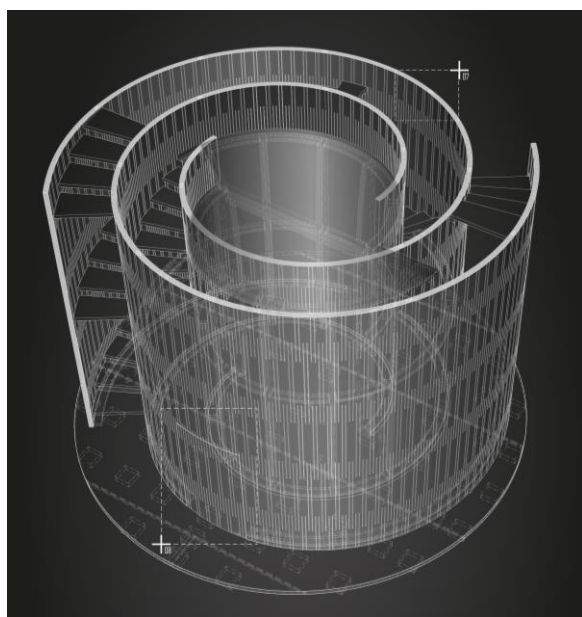
La technique du *Lattice Hinge* voit le jour dans les *fablab* autour de la fabrication d'objet courbe à partir d'un matériau rigide et d'une *lasercut*. En 2011, après des recherches démontrant que des incisions dans le bois permettent de lui donner une flexibilité, Christian Kuhn développe avec Serge Lunin, « Dukta » : un matériau acoustique en bois cintré.

En 2015, Arthur Mamou Mani, architecte-designer, dévoile son projet de faux-plafond acoustique composé de plaques de medium fins, courbées grâce à la technique du *lattice hinge*. Il a réussi à obtenir une double courbure des surfaces.

En 2016, Louise Deguine, Sacha Bitoun et Tristan Barth, étudiants à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Malaquais créent « Webentwood » qui diffuse leurs recherches sous une approche paramétrique et open-source. Ces fichiers de code permettent d'appliquer le *lattice hinge* à tous types de surface développables.

Fin 2016, l'agence d'architecture ArtBuild, intéressée par les résultats de ces recherches, décide de poursuivre l'exploration de cette méthode à plus grande échelle et propose à Elioth et Lineazen de s'associer pour développer un système de mur porteur en CLT cintré. Le choix d'une machine plus adaptée à l'échelle industrielle s'est imposé, impliquant de s'interroger sur un protocole permettant de découper les panneaux. En effet, l'usinage du CLT comportait des contraintes associées au diamètre et à l'épaisseur de la scie et également consistait à évaluer la conséquence d'un tel usinage dans le comportement statique.

Un approfondissement du contenu scientifique, réalisé par Valentin Puech a permis d'identifier les caractéristiques mécaniques (*capacité porteuse, résistance au flambement, définition du cisaillement permettant d'évaluer la torsion, le comportement sur une épaisseur de 6cm*).

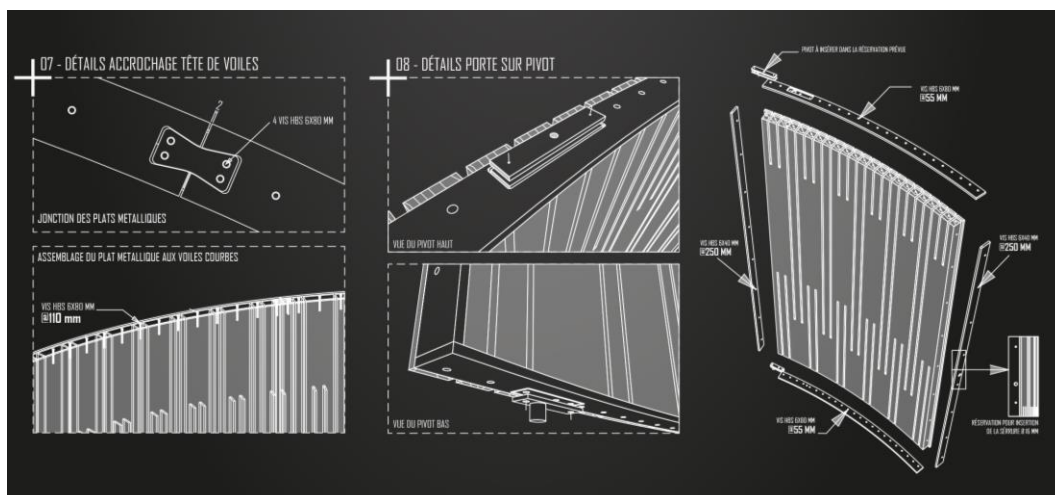


Axonométrie du Nautille Sylvestre ©ArtBuild



Le Nautille Sylvestre, Foire Agricole de Libramont 2019
©Jean-Pierre Ruelle

ArtBuild réunit en 2019 l'agence de design Saïse, le bureau d'études structure Ney & Partners/WOW et l'industriel Laminated Timber Solutions pour la fabrication du Nautille Sylvestre, à l'occasion de la 85^e édition de la Foire Agricole de Libramont en Belgique. Première utilisation structurelle de panneaux CLT cintré à froid, ce totem bois est inspiré par l'extraordinaire efficacité structurelle du tronc de bananier. Cette structure préfabriquée d'apparence cylindrique est composée de 16 panneaux disposés sous la forme de deux spirales imbriquées et liaisonnées par un escalier permettant d'accéder à un belvédère. D'une envergure de plus de 8 mètres et d'une hauteur de 5.6 mètres, ce pavillon d'accueil a été transporté à plat depuis le lieu de son usinage jusqu'à son emplacement de montage.



Détails constructifs du Nautile Sylvestre ©ArtBuild d'après les détails constructifs de Ney&Partners/WOW.



Le Nautile Sylvestre à la Foire Agricole de Libramont en 2019 © Jean-Pierre Ruelle

2. Salle plénière du Forum Bois Construction

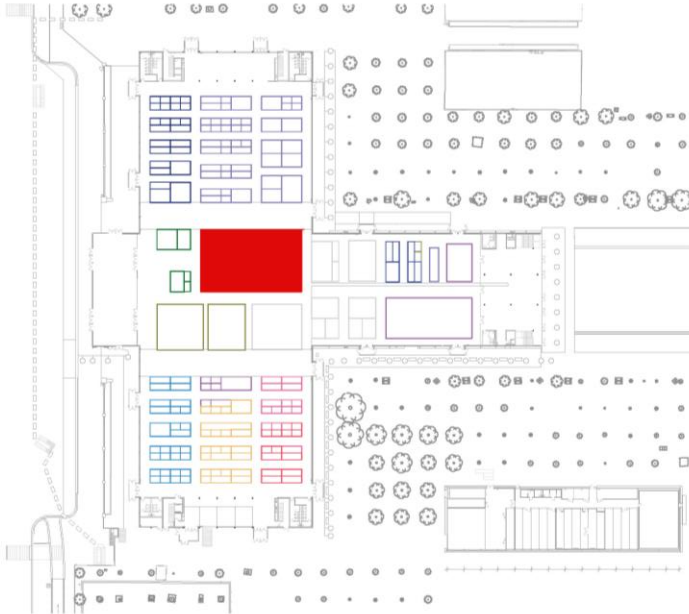
2.1. L'auditorium éphémère

Transposer les techniques connues et documentées de *Lattice Hinge* sur des éléments plus épais induit de reconsidérer le champ de cette technicité, aux regards des enjeux de cintrage et de structure des panneaux, de leur façonnage et de leur mise-en-œuvre.

Les expériences passées ont ainsi permis de vérifier divers points, notamment : le cintrage réversible et l'adaptation du rayon de courbure au besoin, l'efficacité du transport à plat, l'utilisation des outils numériques dans l'industrie du bois, le cintrage sur mesure, le recyclage des composants en bois standard et les qualités acoustique, biophilique et esthétique. Fort de ses recherches préliminaires à titre expérimental sur le *Lattice Hinge* et du succès du Nautile Sylvestre, l'équipe souhaitait renouveler l'expérience à grande échelle et conférer aux panneaux CLT de 6 centimètres d'épaisseur des vertus modulables.

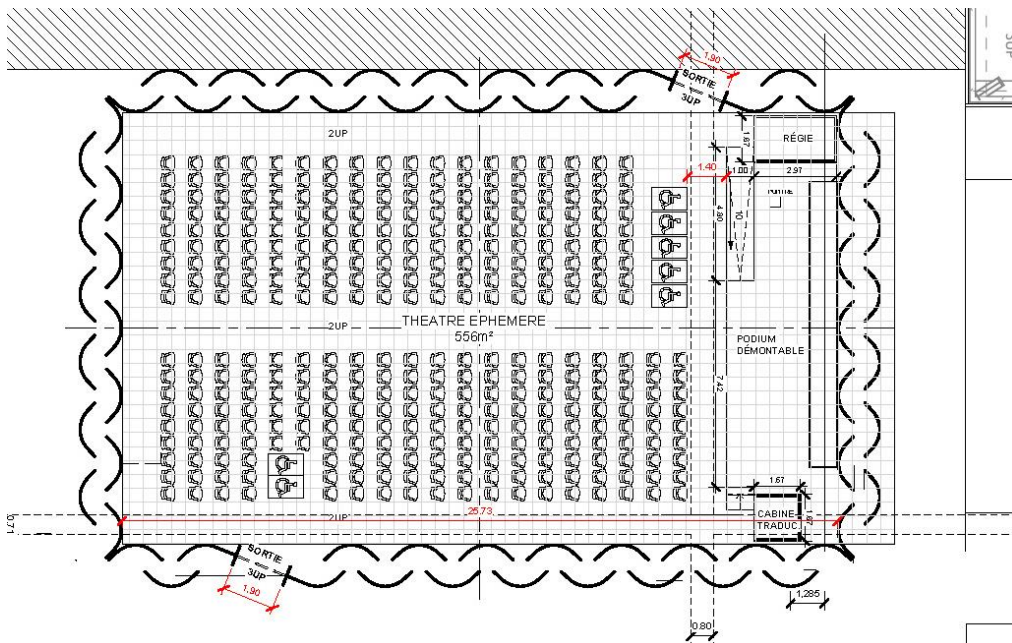
2.2. Le théâtre éphémère

Séduit par la réussite du Nautille Sylvestre, l'agence d'événementiel NVBCOM a souhaité faire appel à ArtBuild et son équipe, une nouvelle occasion de repousser à nouveau le procédé. C'est dans ce contexte, au sein du Grand Palais Éphémère sur le Champ de Mars à Paris, que l'équipe d'ArtBuild, en partenariat avec Ney&partners, Piveteau bois, Rothoblaas, Laminated Timber solutions, Bouquerod Industrie, Wall Up préface, Apave, Aida et International acoustique et CBS Lifteam, a imaginé la salle plénière de la 10^e édition du Forum International Bois Construction.



Plan d'implantation du Théâtre Éphémère ©ArtBuild

Situé au cœur de l'exposition, dans l'axe reliant l'École Militaire à la tour Eiffel, l'auditorium, de plein pied, s'impose par ses larges panneaux de CLT Douglas raboté de 5,25m de haut. Capable d'accueillir 350 personnes, le théâtre dispose de deux entrées formées par des cadres en CLT. Deux rideaux en velours viennent signifier ces entrées.



Plan du Théâtre Éphémère ©ArtBuild

Ces 64 panneaux de CLT cintré à froid sur place forment un rectangle de 30 m par 18.50m. Le motif formé par des rainures laisse de fines ouvertures permettant d'apercevoir le liaisonnement rappelant la structure interne de l'os d'oiseaux.

En effet, la stabilité est assurée par des modules de 3 panneaux connectés par des barres de contreventement filetées maintenant la structure ainsi que l'écartement entre les panneaux. Ce principe d'entretoise permet une flexibilité d'assemblage et plusieurs configurations de plans.



Dépose du panneau sur le mannequin de cintrage ©ArtBuild Consolidation du cintrage avec le plat métallique ©ArtBuild

Les 64 panneaux ont été cintré manuellement au moyen d'un mannequin taillé depuis les chutes des *master panels* de CLT. Les panneaux plats usinés et rainurés sont soulevés à l'aide d'un pont roulant, puis sont posés pour être cintré sur un mannequin en forme d'arche reprenant le rayon de courbure souhaité.

Aux extrémités supérieures et inférieures, des plats d'acier vissés, suivent le cintrage en forme de lentille.

Au sein des entailles, des clavettes en fonte, droite et en biseau, reliées par des tiges filetées sur 15cm aux extrémités permettent de précontraindre le panneau et de maintenir une courbure homogène sur sa hauteur.

L'utilisation du métal pour les éléments de contreventements, stabilisation et cintrage était certes initié par la volonté de trouver un matériau capable de reprendre les propriétés fonctionnelles de l'os d'oiseau, mais également porté par une recherche d'efficacité et de démontabilité. De plus, ce matériau apparaissait comme parfaitement complémentaire avec le bois. La logique de conception fut portée par une volonté de minimiser la matière sans la faire disparaître.



Insertion des clavettes biseautées dans les rainures ©ArtBuild reliées par les tiges filetées ©ArtBuild



Cintrage avec les clavettes

La courbure n'étant nécessaire qu'au milieu des panneaux, les rives sont dénuées de rainures et permettent d'apprécier la surface du douglas. La longueur des jambes de torsion est paramétrée en fonction du rayon de courbure à obtenir. L'usinage à la scie circulaire d'entailles parallèles permet de réaliser des économies de temps et d'énergie par rapport aux procédés de cintrage traditionnels comme le préformage, le cintrage vapeur ou par moulage. Cette technique permet d'acheminer des éléments de grand format en réalisant le cintrage sur site et manuellement. Cette capacité à être démonté, transporté et réassemblé ailleurs pour couvrir d'autres événements était propice à la demande du Forum Bois construction.

Il apparaît nécessaire à l'équipe de l'auditorium éphémère de réaliser un *benchmarking* afin d'en tirer les réflexions, les avantages et les inconvénients potentiels d'une telle technique de réalisation et de montage.

Afin de vérifier l'approche théorique et une preuve de concept à cette étude, plusieurs essais ont été réalisés au sein de l'usine de Laminated Timber Solutions. Ainsi, avant sa définitive mise en œuvre, les différents tests de prototype ont permis d'ajuster le motif, le type de contreventement, le diamètre des barres filetées, permettant également d'anticiper précisément le temps et les contraintes de montage et démontage.

Le nautile Sylvestre a permis de passer à l'étape porteuse, dans le sens "supporter du public". L'auditorium éphémère, c'est davantage une réflexion sur la modularité, la reconfiguration dans le plan, et l'économie circulaire préfigurant le réemploi futur de ces panneaux de CLT cintré.



Prototype réalisé de deux panneaux de CLT cintré ©ArtBuild



Prototype réalisé de deux panneaux de CLT cintré ©ArtBuild