

L'innovation technologique au service de l'Architecture

Nabucco : un transfert technologique des travaux du Laboratoire des constructions en bois de l'EPFL

Qui sommes-nous ?

Le Laboratoire des constructions en bois de l'EPFL, IBOIS, est dirigé depuis 2004 par le Professeur Yves Weinand. Doté d'un double diplôme d'architecte et d'ingénieur civil, le professeur explore avec son équipe (ingénieurs civils, architectes, mathématiciens et informaticiens) les potentiels encore inexploités du bois. À travers une vision globale du projet d'architecture, les recherches menées au sein du laboratoire interrogent les modes de construction contemporains, depuis leur conception jusqu'à leur mise en œuvre, et interrogent leur devenir en fin de vie. Le laboratoire IBOIS poursuit de nombreuses recherches et met en œuvre ses découvertes via des transferts technologiques appliqués à des projets tels que récemment la Chapelle Saint Loup ou le Pavillon du Théâtre de Vidy.

La structure de l'Opéra Nabucco dans la cathédrale de Lausanne présente en exclusivité mondiale le tout dernier transfert technologique réalisé par le laboratoire.

Nos préoccupations : Durabilité et économie

En 2010, le secteur du bâtiment était responsable de près d'un tiers (32%) des dépenses globales en énergies. Cette consommation peut être significativement réduite via l'utilisation de matériaux dont la production requiert moins d'énergie, tels que le bois. Un bâtiment en bois, c'est 90% de matériaux recyclables ou réutilisables. C'est sur ce constat qu'intervient le laboratoire de construction en bois de l'EPFL.

Le bois possède des caractéristiques mécaniques extrêmement intéressantes et encore sous-exploitées. Son cycle de vie en fait un matériau à la fois durable, renouvelable et dégradable. Ce matériau admet également une très large diversité d'essences qui présentent des résistances variables, une certaine flexibilité et des applications infinies. Sa simplicité de transport, de mise en œuvre et d'assemblage font du bois un matériau idéal pour la production d'éléments préfabriqués destinés au bâti.

Contexte : Tradition, industrie et innovation

Aujourd'hui, pour la réalisation de coques et de structures spatiales, l'usage de panneaux de bois est rendu possible grâce aux avancées techniques et technologiques qui simplifient grandement la préfabrication. Toutefois, si les panneaux de bois de type LVL (bois lamifié) offrent d'intéressantes propriétés mécaniques, les possibilités de design sont réduites par le manque d'efficacité des éléments de jonction. Actuellement, les assemblages se font principalement à l'aide de colles. Lors du montage in situ, il est en outre nécessaire d'ajouter des attaches ou éléments métalliques de fixation (vis, clous). De plus il n'est pas toujours possible de coller ensemble les éléments sur place, à cause des conditions environnementales particulières requises pour l'usage des colles. Ainsi, pour des structures plus complexes, telles que des structures pliées, l'assemblage de joints non orthogonaux devient

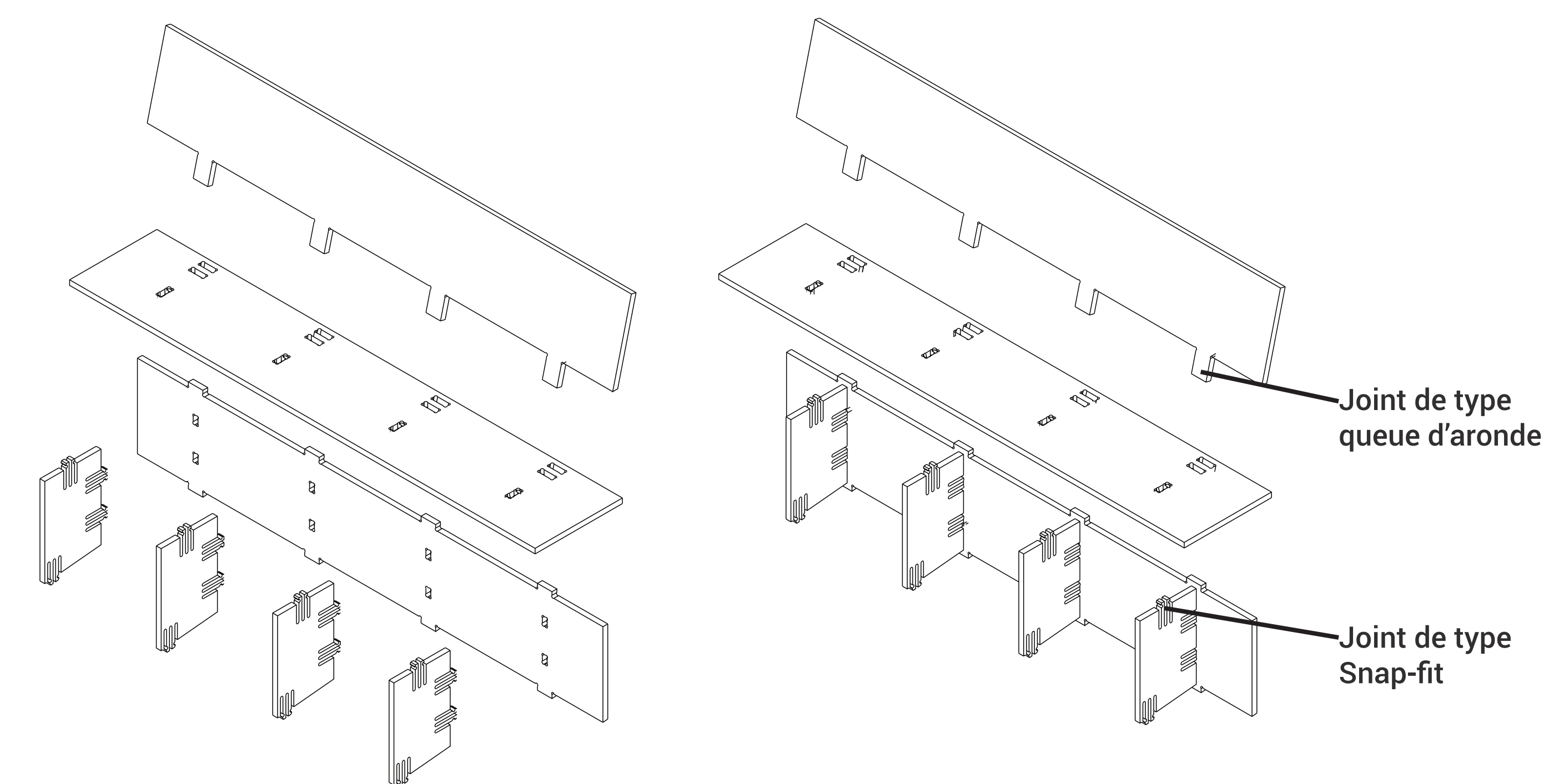


fig.1. Assemblage des bancs



fig.4. Prototype expérimental

un réel défi, même avec des éléments de jonction métalliques. Des études précédentes ont par ailleurs démontré que l'efficacité structurelle d'un édifice en bois pouvait être considérablement améliorée si les joints venaient à être optimisés.

Une possibilité d'amélioration réside dans la plus vieille méthode d'assemblage connue : les joints mécaniques intégrés. Ce sont des liaisons solides, telles que les tenons-mortaises, les queues d'aronde ou encore les assemblages à queue droite (finger-joint) qui sont communément utilisées dans la charpenterie et la menuiserie traditionnelle. Avec l'industrialisation croissante et la prolifération des machines, ces joints ont été largement remplacés par la production massive de fixations métalliques. Ce n'est que récemment que l'industrie du bois a pris conscience que des outils tels que les interfaces de génération algorithmiques peuvent être utilisés pour l'analyse et la conception des liaisons intégrées, provoquant la résurgence de techniques de fixations mécaniques intégrées.

Une seconde alternative possible pour l'assemblage de panneaux de bois sans l'utilisation de fixations additionnelles existe dans des jonctions dites « élastiques », qui constituent une autre technique connue d'assemblage mécanique.

Ces joints élastiques appelés « joints snap fit » permettent un verrouillage mécanique pour relier ensemble deux éléments de bois. Ils sont aujourd'hui largement produits (matières plastiques) et utilisés dans l'industrie comme un moyen simple, économique et rapide de connecter deux éléments.

Snap-fit joint, en bref :

En 2014 le laboratoire IBOIS de l'EPFL présentait à la conférence Acadia 2014 Design Agency à Los Angeles un modèle de joints clipsés en bois, encore inédit¹. Concrètement, en explorant les propriétés d'élasticité du bois et particulièrement sa viscosité, le laboratoire a mis au point un système de prise mâle et femelle, qui une fois emboîtés (ou « clipsés ») sont capables de maintenir ensemble deux éléments de bois sans ajout de colle

ou de métal. Le principe de connexion instantanée a déjà été utilisé dans l'industrie automobile par exemple, mais s'il venait à être utilisé dans la construction, il pourrait simplifier la mise en œuvre, raccourcir le temps de montage et diminuer son coût. Le joint est composé de deux éléments, à la manière d'un tenon-mortaise où le tenon (mâle) viendrait se clipser dans la mortaise (femelle). Le tenon est doté en son extrémité d'un crochet, et subit une compression temporaire pour s'insérer dans la mortaise. Cette compression est permise par l'élasticité du matériau. Lorsque les deux prises sont emboîtées, la compression est relâchée et le tenon retrouve son état initial, assurant ainsi l'assemblage des éléments sans stress. (fig. 2). L'utilisation de tels joints pour lier ensemble des panneaux de bois ouvre la porte à de nouvelles structures tridimensionnelles entièrement en bois.

Une nouvelle technologie basée sur des méthodes d'assemblage complémentaires

Si les snap-fit joints peuvent assurer un certain maintien entre les éléments, ils n'admettent en revanche aucune résistance au cisaillement. Afin de pouvoir utiliser ce type de joints en tant qu'éléments de construction capables de reprendre et transmettre les efforts de la structure, IBOIS a combiné les joints snap-fit avec des joints de type queue d'aronde prismatiques qui récupèrent la majorité des efforts. La combinaison de ces éléments a pour résultat un assemblage au comportement mécanique équivalent à des joints vissés (fig. 1). Leur résistance aux efforts tranchants dépend de la longueur des éléments assemblés.

Un premier prototype réalisé en laboratoire a permis l'étude du comportement de ces assemblages. L'élément est paramétré via un script Python sur Rhino 3D, ensuite le script génère automatiquement la géométrie des joints à partir de l'épaisseur des panneaux. Le modèle tridimensionnel est ensuite envoyé pour la découpe sur une découpeuse CNC (machine-outil à commande numérique). Le temps de découpe des éléments

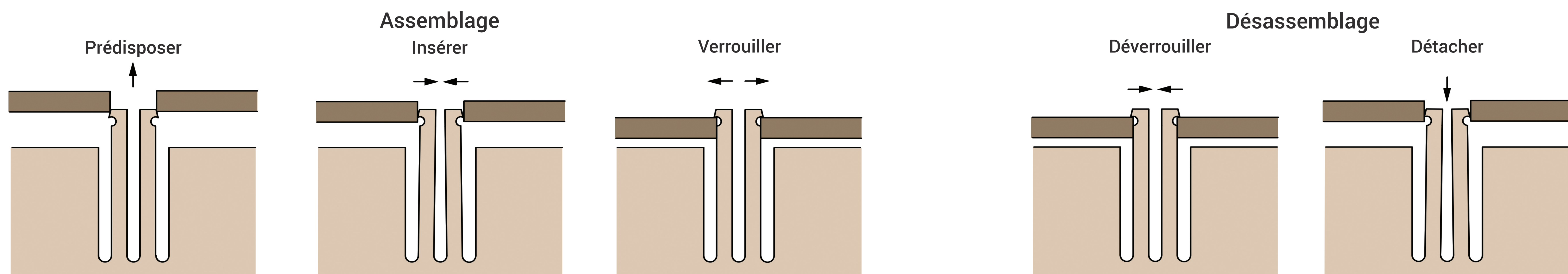


fig.2. Les joints Snap-fit présentés à l'Acadia Design Agency de Los Angeles en 2014



fig.3. Prototype de banc réalisé en panneaux 3-plis



fig.5.Montage



fig.6.Montage

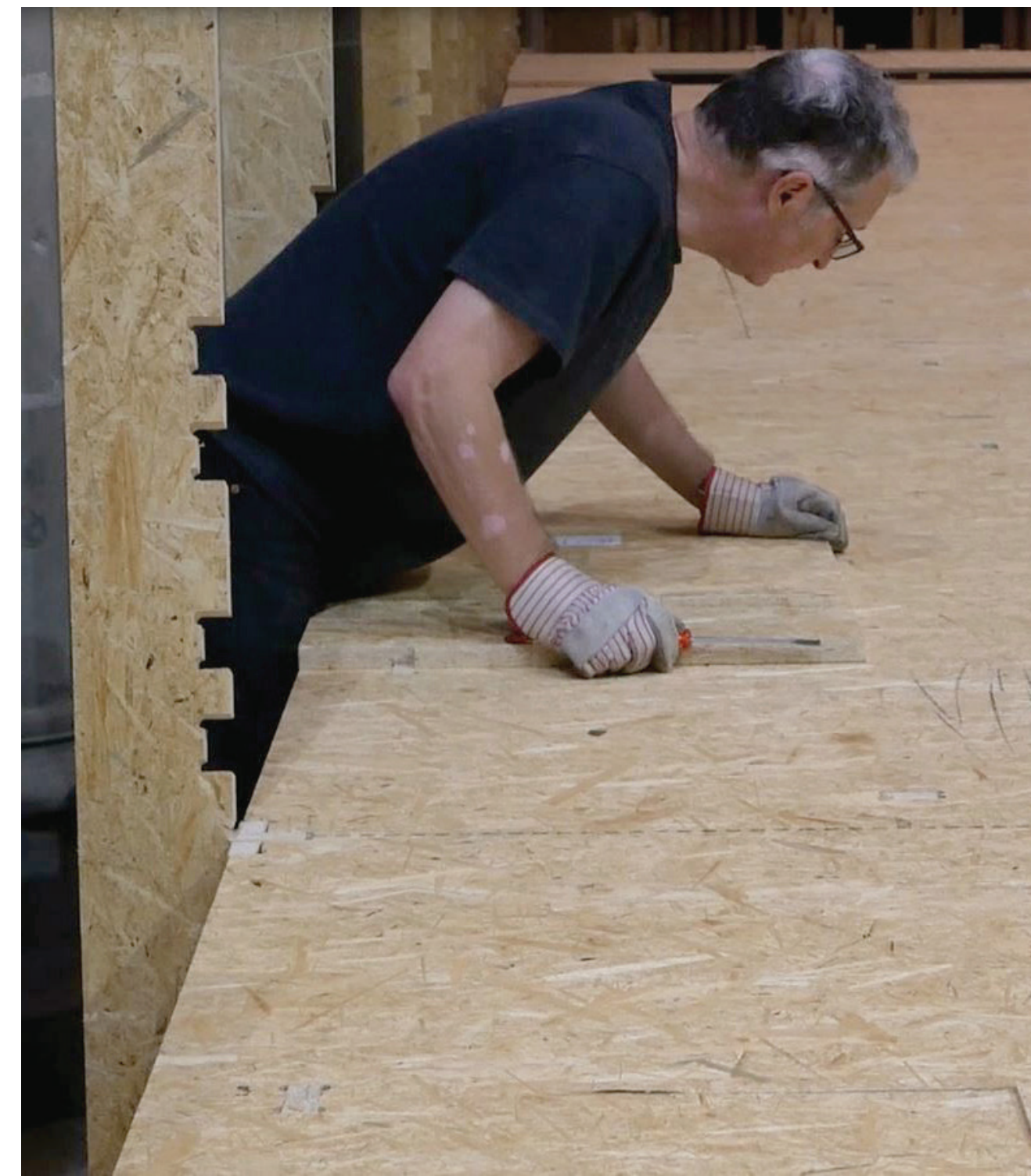


fig.7.Montage



fig.8.Montage

– inexistant dans le cas d'un assemblage conventionnel – est compensé par la rapidité de montage. C'est le même processus qui est aujourd'hui appliqué pour l'ensemble de la fabrication des bancs destinés aux spectateurs de l'opéra Nabucco.

De nombreux avantages sur les liaisons métalliques

Comme vu précédemment, les éléments de liaison métalliques tels que les vis conviennent pour un assemblage rapide directement sur le site, contrairement à des liaisons par collage. Toutefois, ces éléments additionnels nécessitent une épaisseur minimum des éléments à assembler pour être efficaces, et ils ne peuvent être utilisés sur des panneaux LVL trop fins par exemple. Ils nécessitent également d'importants moyens pour une mise en œuvre précise, contrairement à des joints mécaniques intégrés, qui sont préfabriqués pour s'emboîter parfaitement avec une tolérance de 0.1mm. À l'inverse :

Le processus de mise en œuvre de ces nouveaux joints (modélisation numérique, paramétrisation, découpe CNC) permet une optimisation de la géométrie des joints au sein même de la structure, et peut être adapté selon le matériau choisi, son épaisseur, l'angle d'assemblage etc.

Le transport des éléments à plat avant montage permet une optimisation du volume déplacé. Les joints snap-fit permettent un assemblage et un désassemblage rapide. Les joints snap-fit forment une connexion bois-bois ; il est important de signaler les nombreux avantages d'une connexion à matériau unique : aspect et esthétique, facilité de recyclage, conductivité thermique homogène etc. Associés à des joints mécaniques de type queue d'aronde, les performances mécaniques d'un tel assemblage sont très prometteuses. Les bancs présentés par IBOIS pour l'opéra Nabucco sont un infime aperçu des possibilités offertes par ces nouvelles technologies.

Transfert technologique : du laboratoire au monde réel

“Le transfert technologique est le processus désignant le transfert formel à l'industrie de découvertes résultant de la recherche universitaire ou privée dans le but de les commercialiser sous la forme de nouveaux produits et/ou services”²

Les recherches et découvertes menées par les chercheurs dans les Hautes Ecoles trouvent la plupart du temps une première résonance au sein du monde académique. C'est seulement dans un second temps que la technologie peut trouver écho auprès d'entreprises spécialisées, avant d'être partagée au grand public.

Le laboratoire IBOIS défend une approche appliquée de la recherche en architecture, et aspire à l'extension et la propagation de ses recherches et découvertes au-delà du monde académique. Le choix des outils utilisés au sein du laboratoire, tels que des logiciels courants de conception assistée par ordinateur (CAD), ainsi que des robots et machines de découpe à commande numérique assistée déjà disponibles sur le marché et utilisés par de nombreuses entreprises, participe au partage du savoir. À l'IBOIS, les chercheurs ouvrent de nouvelles portes à la compréhension et la maîtrise d'outils technologiques contemporains, dans le but d'étendre le domaine d'application desdits outils. Le laboratoire veille également au suivi du processus de transfert technologique. La bonne coopération avec les entreprises partenaires est un élément essentiel à la réussite du projet.

Sur la base de la technologie snap-fit développée à l'IBOIS, le laboratoire a fourni à l'entreprise responsable de l'usinage et du montage du décor, l'inventaire des pièces ainsi que les plans de découpe. Grâce à ces informations, l'entreprise a eu en main les outils nécessaires pour mettre en place des processus de production qu'elle n'avait encore jamais entrepris. Pour le laboratoire, c'est également la récompense d'une application concrète de ses recherches.

Applications et potentiels

Le rôle du modèle numérique dans ce processus de création de structures en bois est essentiel.

Ces nouveaux outils ouvrent le champ des possibilités à de nouvelles formes structurales, de nouveaux assemblages, les seules restrictions à la création sont celles inhérentes au matériau bois.

Avec le projet Nabucco, le laboratoire présente au grand public une application concrète de ses recherches, par le biais d'un projet simple, compréhensible et intuitif. La totalité de la structure mise en place pour Nabucco est démontable et réutilisable. Sa mise en œuvre ne nécessite pas d'outils particuliers et se fait manuellement. (fig. 5,6,7) À la suite des représentations, certains bancs seront laissés à la cathédrale pour accueillir des événements ultérieurs, tels que des concerts d'orgue. La structure sera proposée à la vente pour une seconde vie. À moyen terme, des applications dans la construction en bois de ce type de joint pourraient voir le jour. V.P/Y.W

¹ Snap-fit joints : Integrated mechanical attachments for structural wood panels
² Association of University Technology Manager, 2004

Architecte:

Yves Weinand, architectes sàrl, Lausanne

Ingénieur civil:

Bureau d'Etudes Weinand, Liège

Transfert technologique:

Laboratoire des constructions en bois, IBOIS/EPFL

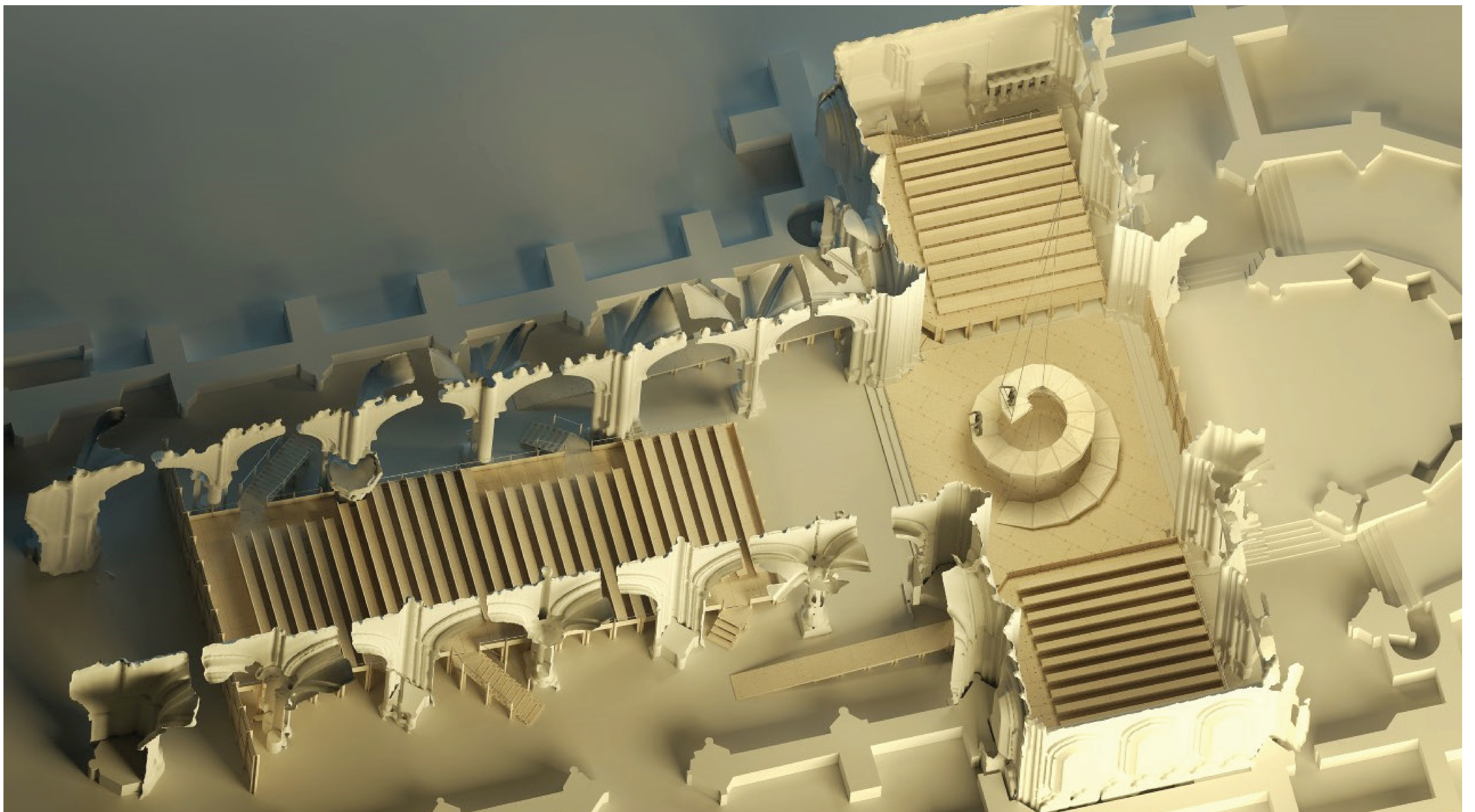


fig.8.Maquette numérique tridimensionnelle du projet, d'