CONSTRUIRE EN BOIS

Le journal de la construction commerciale en bois

du labo AU CHANTIER

Conception de structures de bois en résille

Dans les années 1990, l'arrivée des logiciels de modélisation en architecture a favorisé un certain polymorphisme organique. Depuis, la fluidité et l'aspect quasi immatériel des surfaces brouillent les notions de structure et de gravité, et s'expriment en rupture avec la façon de penser l'architecture comme une stratification de poutres et de colonnes. Toutefois, l'utilisation de méthodes constructives traditionnelles pour réaliser ces nouvelles formes complexes présente un défi en termes de constructibilité; elle conduit notamment à une surutilisation des matériaux et à un décuplement du temps de chantier.

C'est à cette problématique que s'adressent les travaux de doctorat de Philippe Charest, étudiant en sciences de l'architecture à la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB). Son projet, réalisé sous la

© Crédit : Philippe Charest

Le CIRCERB

La chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) de l'Université Laval est une plateforme académique multidisciplinaire et intégrée jumelée à un consortium industriel. Évoluant au sein de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval, la chaire oeuvre sur tout le réseau de création de valeur du secteur de la construction, dans le but de développer des solutions écoresponsables, qui utilisent le bois pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. Trois axes de recherche orientent son programme de recherche du CIRCERB: Concevoir, Construire et Exploiter.

La publication

Du Labo au chantier est une nouvelle publication de Cecobois qui a pour objectif la diffusion des travaux de recherche du CIRCERB. Elle vise la vulgarisation de projets réalisés par des étudiants à la maîtrise, au doctorat.

CIRCERB

cecobois
Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois

Figure 1 Les résilles en bois, pour un ratio volume/matière inégalable.

supervision M. André Potvin et de M^{me} Claude Demers de l'École d'architecture de l'Université Laval ainsi que de M. Sylvain Ménard de l'UQAC, vise à réduire la quantité de matière en concevant des géométries optimisées à l'aide d'un système constructif en bois. L'étudiant s'intéresse plus particulièrement au potentiel des résilles, suggérant que ce mode constructif puisse mieux répondre aux enjeux contemporains relatifs à la matérialisation de formes complexes. Encore peu utilisées en Amérique du Nord et présentes de façon limitée en Europe, les résilles ont l'avantage de pouvoir prendre des configurations très variées tout en ayant un ratio volume/matière inégalable (Figure 1). Ce système constructif permet en d'autres mots

« (...) les résilles ont l'avantage de pouvoir prendre des configurations très variées tout en présentant un ratio volume/matière inégalable. »

de pouvoir réaliser de grands volumes tout en utilisant une quantité minimale de matière.

Cette recherche-création explore le thème de la complexité à l'aide d'une approche paramétrique qui permet, dans un premier temps, d'analyser les précédents architecturaux de résilles et, dans un second temps, de concevoir une série de modèles présentant de légères variations. La modélisation paramétrique, grâce au logiciel Rhinoceros et à son plug-in Grasshopper, a permis d'explorer la conception de géométries innovantes et complexes grâce aux résilles.

Les résilles se révèlent effectivement comme étant une alternative constructive crédible à la matérialisation des formes complexes rendues possibles grâce aux nouveaux outils de modélisation numérique. On retrouve deux grandes familles de résilles dont la principale différence est relative au processus d'érection du bâtiment. Les résilles élastiques sont formées à la base d'un réseau plat d'éléments continus non pliés, déformés sur le site dans la forme désirée (Figure 2). Dans le cas des résilles rigides, les ouvriers cintrent les membrures en usine en fonction de la géométrie finale et les assemblent ultérieurement sur le chantier (Figure 3).

Figure 2 Exemple de résille élastique, le Weald and Downland situé à Singleton, au Royaume-Uni.

Figure 3 Exemple de résille rigide, le Crossrail Place, du Canary Wharf, à Londres.

Pour mieux comprendre les projets réalisés ainsi que pour guider les professionnels du bâtiment dans les choix conceptuels relatifs à la réalisation d'une résille, ce projet a mené au développement d'un outil de classification graphique. Une matrice de 64 familles de résilles en bois a été générée en modulant la forme, la structure et la matière en quatre niveaux de complexité (Figure 4). Sur l'axe formel, le niveau 1 (F1) présente une surface courbée dans un seul plan, le niveau 2 (F2) est une surface à double courbure définissable par une fonction mathématique, le niveau 3 (F3) fait appel à une forme libre et le niveau 4 (F4) réfère à une forme libre qui se replie sur elle-même pour former un élément d'appui ou définir une cour centrale. Sur l'axe structural, le niveau 1 (S1) présente des membrures orthogonales et équidistantes, le niveau 2 (S2) adopte une grille orthogonale où l'espacement des membrures peut varier, le niveau 3 (S3) autorise les déviations et le niveau 4 (S4) permet l'agencement le moins contraignant dans lequel les membrures peuvent se croiser et se regrouper dans les zones les plus sollicitées. À ce niveau, le treillis adopte des configurations imprévisibles qui laissent entrevoir des agencements optimisés répondant efficacement aux charges. Sur l'axe matériel, le niveau 1 (M1) correspond à un maillage homogène composé d'une essence de bois unique, le niveau 2 (M2) est caractérisé par un triage mécanique des composantes, le niveau 3 (M3) fait correspondre les propriétés de différentes essences de bois et l'intensité des efforts et le niveau 4 (M4) présente des variations matérielles à l'intérieur d'une même membrure. Rassemblés dans un graphique, ces trois axes deviennent un outil de classification pour les résilles dont l'ensemble des familles sont représentées par un «code génétique». Ainsi, une structure classée [F1: S1: M1] représente le simple cas, avec une forme incurvée unidirectionnelle, aux éléments équidistants et à une seule essence de bois, alors qu'une structure classée [F4: S4: M4] présente le cas le plus complexe.

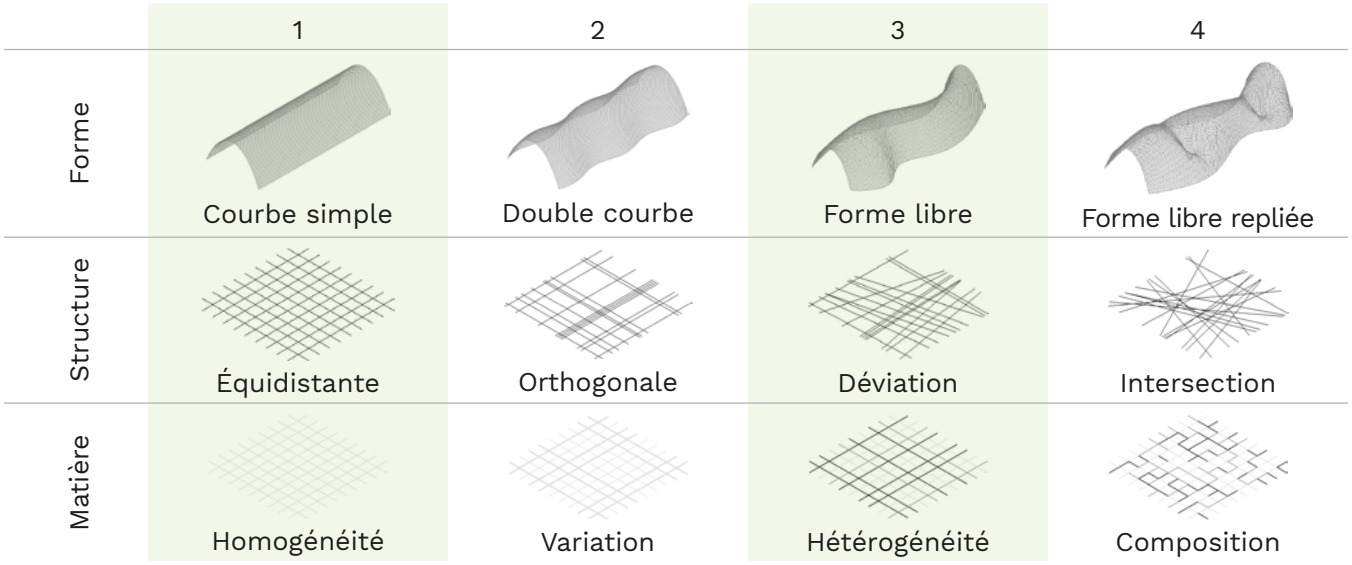

Figure 4 En définissant la forme, la structure et la matière en trois axes proposant chacun quatre niveaux de complexité, 64 familles de résilles sont créées.

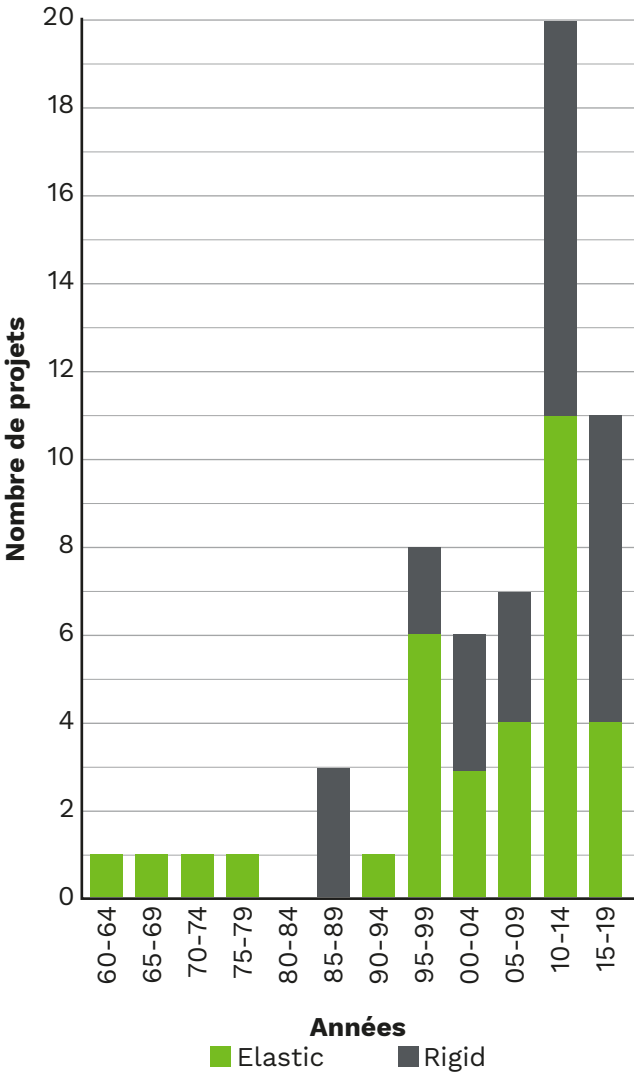

Figure 5 Distribution des projets de résilles en bois dans le temps et de la proportion de résilles élastiques et rigides.

Cette grille à trois axes et à quatre niveaux a par la suite servi à la classification de soixante structures en treillis en bois existantes en fonction de la complexité de leur courbure, de la disposition de leurs membrures et de la composition des essences utilisées, permettant ainsi de suivre l'évolution de la complexité des structures de bois en résilles dans le temps. La figure 5 présente une distribution de l'année de construction des 60 projets analysés dans le temps. Elle démontre qu'entre les années 1960 et 1995, seulement un petit nombre de projets a été dénombré, alors qu'à partir de 1995, on a vu progresser le nombre de bâtiments à structures de bois en résille. Ce changement concorde avec l'arrivée de l'utilisation des ordinateurs pour générer les formes et suggère que les résilles soient une solution intéressante pour matérialiser les formes complexes permises par ces nouveaux outils de conception. Cette figure démontre également un accroissement de la proportion de résilles rigides par rapport aux résilles élastiques, illustrant ainsi l'impact de la démocratisation de la fabrication numérique. L'usage de tels outils, telles les fraiseuses multiaxes, augmente la capacité des manufacturiers de produire un grand nombre d'éléments uniques.

L'analyse de l'évolution du niveau de complexité des trois axes a également démontré que la complexité de la forme et de la matière ont été assez stables dans le temps, alors que la complexité des structures a eu tendance à progresser (Figure 6). La moitié des projets adoptent des géométries à double courbe définissables d'un point de vue mathématique (F2) et que les projets les plus complexes formellement font appel à des modes d'érection complètement différents. De plus, la majorité

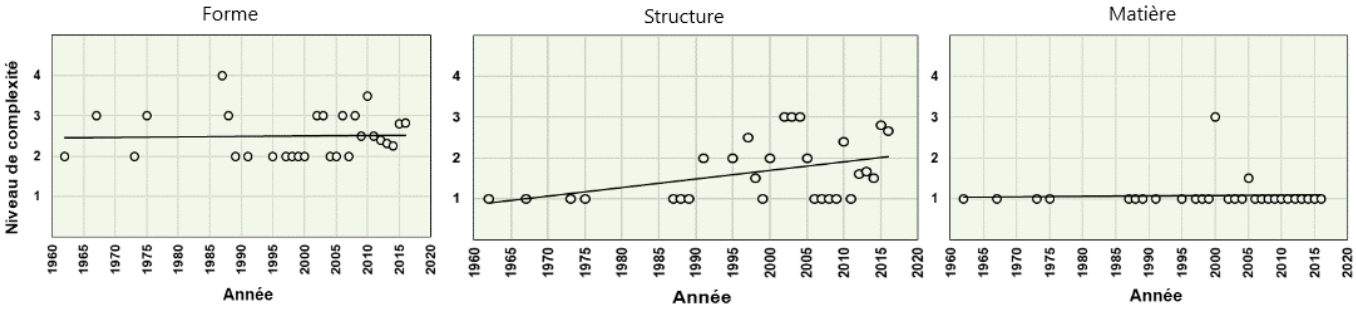

Figure 6 Évolution dans le temps de la complexité de la forme, de la structure et de la matière des projets de résilles en bois.

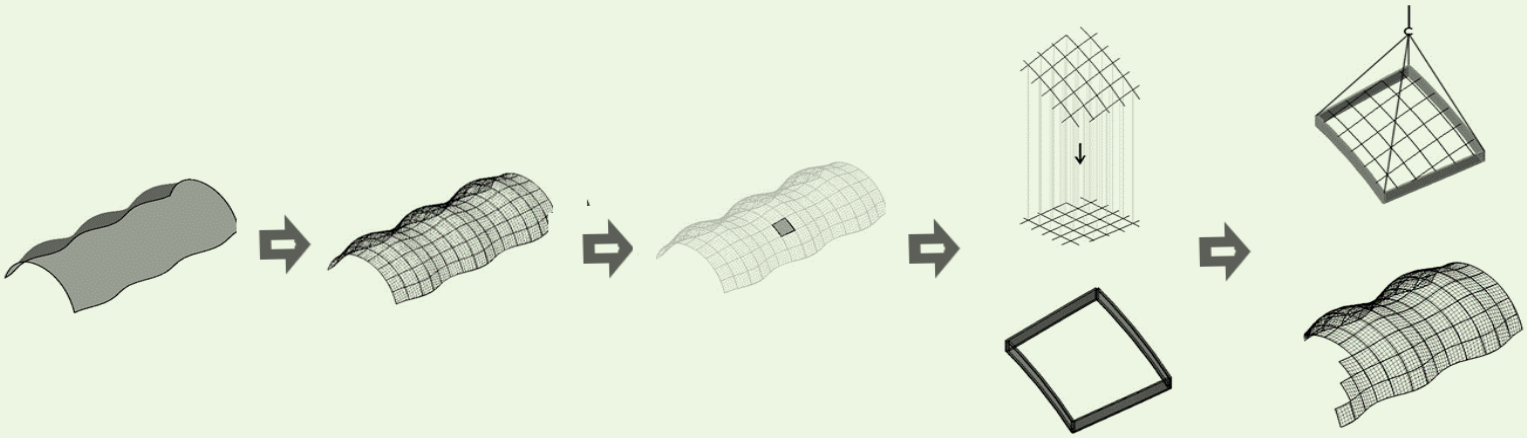

Figure 7 Évolution dans le temps de la complexité de la forme, de la structure et de la matière des projets de résilles en bois.

des projets utilise une grille orthogonale ou équidistante facilitant la déformation pour les résilles élastiques. Enfin, malgré des essences de bois différentes d'un projet à l'autre, il y a peu de variabilité à l'intérieur d'un même projet. Dans certains cas, les pièces peuvent être triées pour répondre aux normes en vigueur. La quasi-totalité des exemples sont situés sur le premier niveau de l'axe matériel.

Les résultats de ces analyses ont mené à la proposition d'une technique novatrice hybride alliant des cadrages de bois lamellé-collé remplis par des treillis déformables faits de membrures de petites sections (Figure 7). On suggère ainsi que la segmentation de la surface en utilisant une structure primaire de composantes préfabriquées et une structure secondaire de grilles déformables est une avenue intéressante pour la matérialisation de formes libres par l'usage de résille de bois. Ce concept de modularité introduit par la proposition d'une technique constructive hybride s'harmonise davantage avec les considérations économiques des manufacturiers d'éléments structuraux en bois. La décomposition d'une surface initiale en une série de sous-surfaces composées de cadres rigides et de treillis souples favorise la préfabrication en usine et puisque les éléments sont courbés dans une seule direction et que les treillis peuvent être pliés, des éléments plats uniquement sont transportés sur le site. En chantier, il n'est plus nécessaire de contrôler la déformation d'une grille de bois instable et de calculer des scénarios de charges pour déterminer les points d'ancrage de la grue lors du processus d'érection. Les éléments rigides offrent également un contrôle total sur la géométrie finale, ce qui n'est pas le cas avec les résilles élastiques traditionnelles qui peuvent se déformer de façon insuffisante ou excessive. Bien que les cadres soient à l'origine d'une légère augmentation de la quantité de matériau, leurs épaisseurs offrent la possibilité d'ajouter d'autres composantes de l'enveloppe du bâtiment comme l'isolation et d'intégrer plus facilement des ouvertures pour faire pénétrer la lumière. Finalement, cette technique permet de déconstruire les projets au terme de leur cycle de vie en désassemblant les faces une à une à l'aide d'une grue.

« Les résultats de ces analyses ont mené à la proposition d'une technique novatrice hybride alliant des cadrages de bois lamellé-collé remplis par des treillis déformables faits de membrures de petites sections. »

Enfin, ce projet a réussi à démontrer que les résilles s'imposent comme une solution crédible face aux enjeux formels de la conception numérique puisqu'elles permettent d'accéder à un large éventail de géométries qui s'apparentent à celles réalisées avec les nouveaux logiciels de modélisation. Aussi, le matériau bois utilisé en résille s'avère un allié pour réaliser des formes architecturales complexes. Bien que les projets actuels explorent peu la complexité matérielle, l'optimisation des membrures en fonction de leurs propriétés mécaniques présente une avenue de recherche intéressante pour positionner le bois face à l'émergence des nouveaux matériaux de synthèse.

Communiquez avec circerb@sbf.ulaval.ca pour obtenir les publications scientifiques en lien avec ce projet.

© Crédit : Philippe Chayer

Partenaires du CIRCERB

Partenaires majeurs Cecobois