

# PROJET DE RECHERCHE ARC 6801 H Hiver 2022

## Assemblages génératifs hybrides pour une économie circulaire.

Responsables :

Andrei Nejur, professeur adjoint

Thomas Balaban, professeur de formation pratique agrégé



*Figure 1. Mise en œuvre du concept smart-node pour un assemblage structurel complexe grâce à une collaboration entre l'université RMIT, la société de conception ARUP et le chercheur Kristof Crolla du Laboratory for Explorative Architecture and Design (LEAD).*

L'industrie de la construction est un secteur clé de l'économie de plusieurs pays. Au Québec, le marché de la construction est l'une des plus importantes industries, représentant environ 7 % du produit intérieur brut (PIB) de la province. La valeur de l'investissement total dans la construction des bâtiments a atteint 56,3 milliards de dollars en 2019. Le secteur est également important au Canada, employant plus de 1,4 million de personnes. Elle génère environ 141 milliards de dollars à l'économie chaque année, soit 7,5 % du PIB nationale. Compte tenu de son ampleur, l'empreinte environnementale de l'industrie est considérable. Par leur construction et leur utilisation, les bâtiments consomment environ 40 % des ressources, 25 % de l'eau et 40 % de l'énergie, tout en émettant environ 33 % des émissions de gaz à effet de serre. Cet impact considérable fait de l'industrie un acteur clé de la lutte contre le changement climatique. Axées sur la réutilisation et l'optimisation des matériaux et des composantes, les stratégies de l'économie circulaire en liaison avec les nouvelles procédées numériques de calculs structurels et méthodes paramétriques d'organisation des assemblages et connexions constituent des solutions viables pour réduire l'impact environnemental de la construction des bâtiments et contribuent de manière significative et peu coûteuse à la réalisation des objectifs climatiques du secteur.

L'atelier de recherche en architecture s'appuie d'une part sur le développement des connaissances et des techniques numériques, et d'autre part sur la réflexion critique quant à l'influence du virage numérique sur le projet architectural d'aujourd'hui. Les étudiant.e.s développeront un ensemble de compétences portant sur les processus non standardisés de construction et sur l'augmentation de la performance d'une structure grâce à l'optimisation de la forme au moyen d'applications paramétriques. Ils utiliseront les propriétés intrinsèques des matériaux récupérés pour développer une logique formelle, une organisation des composants et des connexions d'éléments sur mesure grâce à un processus itératif piloté numériquement. Ils utiliseront des procédures paramétriques qui subdivisent la forme, organisent l'assemblage et traduisent les composants et les connexions en un schéma de calcul pour un processus de fabrication à différentes échelles, du modèle architectural, jusqu'au prototype à taille réelle.

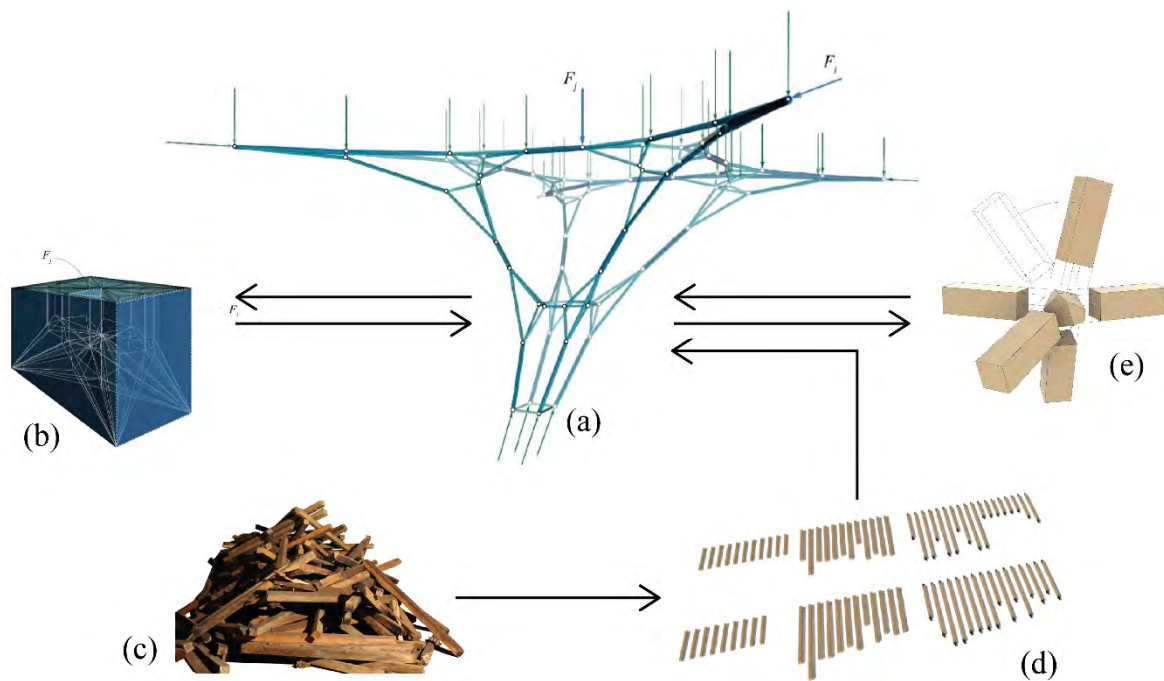


Figure 2. Flux de travail schématique. a) Structure schématique de la forme trouvée. (diagramme de la forme) b) Système polyédrique représentant les forces (diagramme de force) réciproques à la forme. Contrainte structurelle. c) Ressource en bois identifiée (déchets ou récupérable). d) Ressource en bois classée (stock de bois). Contrainte de réutilisation. e) Possibilités de reconfiguration des nœuds. Contrainte de réutilisation.

## ARC6801 H Atelier de recherche

L'atelier de recherche proposé se concentre sur des approches innovantes pour la conception de structures architecturales sur mesure utilisant des matériaux récupérés issus de différentes activités de construction ou de démolition. Pour intégrer les matériaux récupérés dans de nouvelles constructions, et notamment dans des structures architecturales spatiales complexes, un processus de conception spécialisé est requis. Le flux de travail de conception doit relier une trousse de conception limitée et très spécifique composé du matériel récupéré à une intention formelle complexe optimisée pour de multiples critères architecturaux et structurels.

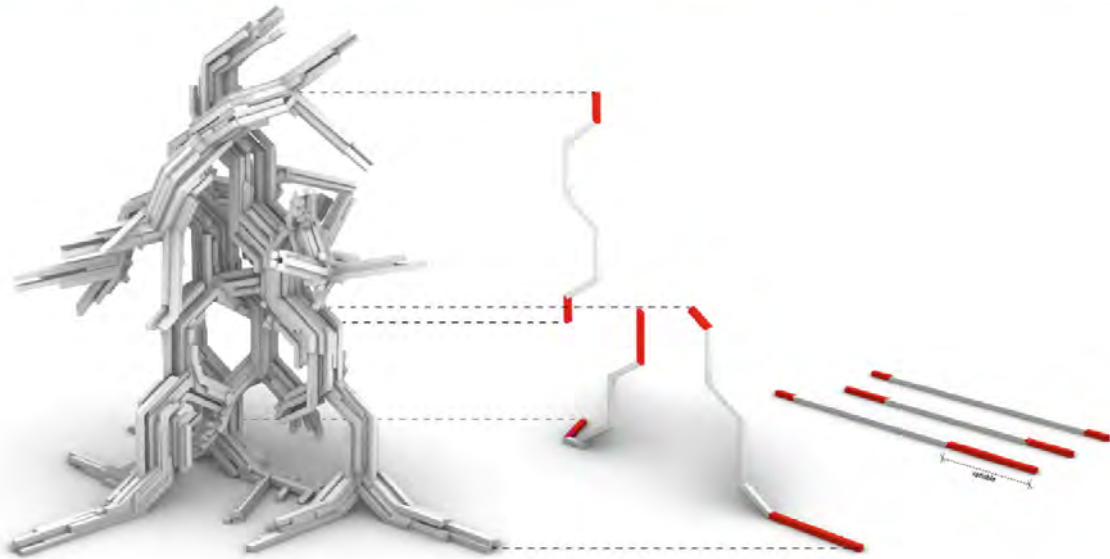
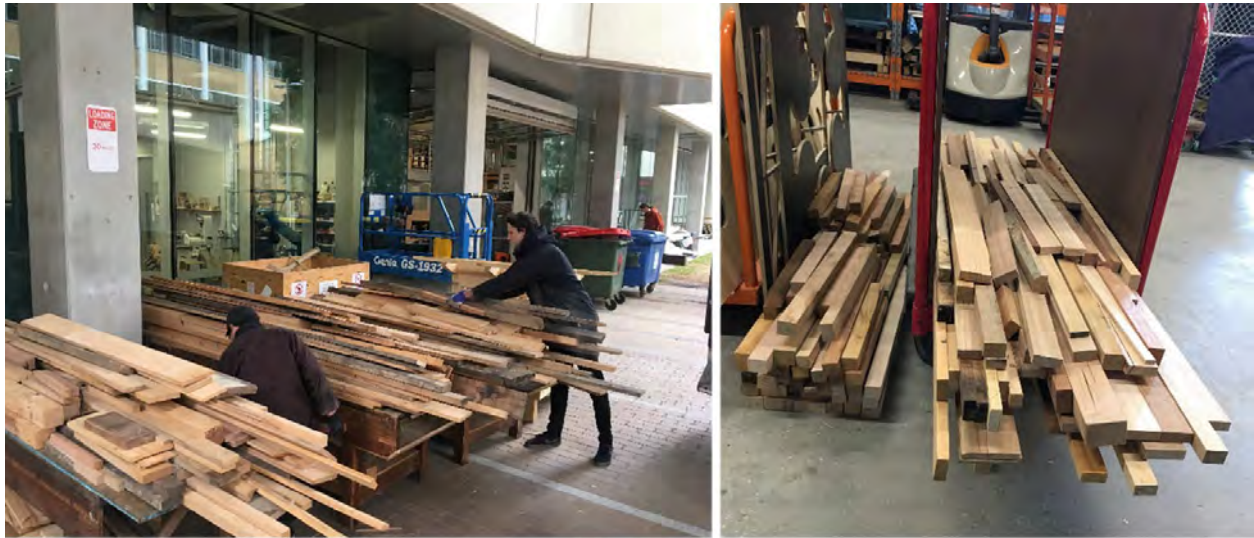


Figure 3. Caitlyn Parry and Sean Guy, *Recycling Construction Waste Material with the Use of AR*, RMIT University, Melbourne, Australia. Projet proposant une méthodologie de réutilisation de bois de rebut provenant de chantiers de construction à l'aide de la réalité augmentée et de modèles numériques flexibles mis à jour par l'inventaire des retailles et éléments de rebut numérisés.

L'atelier de recherche proposé se concentrera sur tous les aspects clés du processus de conception : la création du kit de matériaux récupérés, la recherche de formes architecturales et structurelles contraignantes et l'intégration hybride générative de matériaux réutilisés par le biais de techniques de fabrication numériques contemporaines.

## Trousse de matériel récupéré

Le premier objectif de la recherche vise à identifier les matériaux récupérables en tant que matière première pour le processus de construction. Il peut s'agir de retailles de construction ou de matériaux provenant des constructions à la fin de leur cycle de vie. En utilisant des techniques de numérisation semi-automatiques, un catalogue d'éléments utilisables peut être créé. Ces éléments peuvent être triés en fonction de leur usage potentielle (sur la base des dimensions et de l'intégrité) en utilisant des moyens informatiques. Le catalogue d'éléments disponibles sera utilisé pour créer des trousse de matériel de construction adaptés à des applications spécifiques. Le processus peut être adapté aux éléments de construction linéaires, surfaciques ou volumiques.

## Recherche de formes architecturales et structurelles soumise à des contraintes

Cette partie de la recherche examinera une série de processus de recherche de formes adaptés aux structures architecturales cocontraintes par un inventaire limité, les limitée de matériel de construction prédéfini. Sur la base d'une série de conditions architecturales (fonction, confort, etc.), structurelles (rigidité, charge, etc.), économiques (coût) et de fabrication (outils et techniques de construction disponibles), une famille de formes sera proposée. Ces formes tenteront d'optimiser l'utilisation de matériaux disponibles dans le kit de matériel récupéré, maximisant ainsi la circularité de la structure proposée. L'objectif n'est pas d'utiliser exclusivement des éléments récupérés. La méthode permet l'intégration de nouveaux éléments sur mesure potentiellement fabriqués à partir de nouveaux matériaux, offrant ainsi une plus grande liberté de conception.

## Intégration hybride de matériaux récupérés par le biais de techniques de fabrication contemporaines.

Avec une trousse de matériaux préétabli et une structure architecturale ciblé, la principale question à aborder devienne l'intégration dans une assemblage cohérente de ces éléments avec une nombre très limité de matériel additionnel. La réponse se trouve dans le design génératif et les techniques de fabrication contemporaines comme la fabrication additive ou soustractive (impression 3D ou fraisage robotisé). Le design génératif peut prendre un assemblage structurel schématique comprenant une série de membrures prédéfinis et produire les connexions requises pour un assemblage structurel stable. Par exemple, dans une structure conçue pour utiliser des éléments en

bois linéaires récupérés (poutres), en utilisant la conception générative, les nœuds structurels reliant les poutres pourraient être produits sur la base de la géométrie du réseau de poutres et de la position particulière et de la coupe spécifique de chaque extrémité de poutre. L'impression 3D pourrait être utilisée pour fabriquer chaque nœud avec une géométrie unique, générée sur mesure.

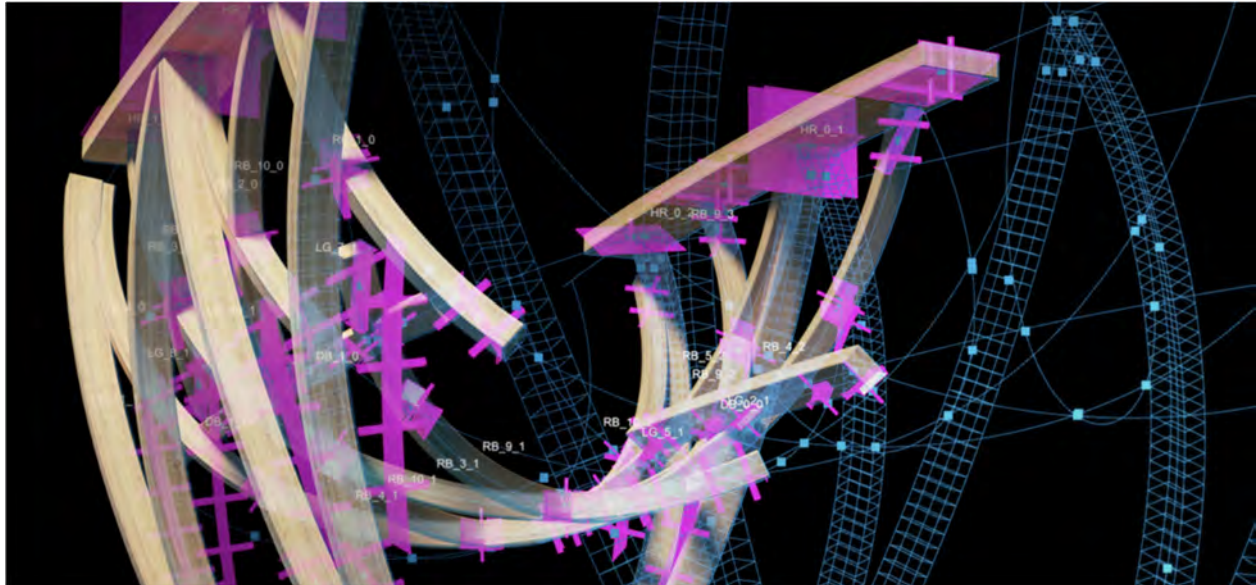


Figure 4. Tom Svilans, modèle 3D du prototype du MBridge. La performances du matériau et les données de fabrication sont superposées au modèle de conception, démontrant ainsi l'approche de modélisation multi-scalaire et intégré de la structure en bois lamellé-croisé et leurs connexions.

Le trimestre sera divisé en 5 parties :

### 1) Modélisation paramétrisée

- Exploration de l'évolution de la conception et la réalisation de l'architecture à la suite du virage numérique.
- Comment formuler un workflow algorithmique. Comment poser de « bonnes questions » et de passer de l'intention à la forme au moyen de la géométrie descriptive et les calculs.
- Quels outils numériques sont disponibles (l'écosystème Grasshopper) et comment créer des outils personnalisés.

### 2) Logique du Matériel récupéré

- Découvrir la logique et le comportement des matériaux et des assemblages à différentes échelles
- Subdivision et composition des surfaces
- Techniques d'assemblage multi-matériaux

### 3) Simulation et analyse

- Visualisation de la géométrie et les données structurantes de la géométrie.
- Simulation du comportement de la géométrie (répartition des forces, subdivision, etc.)
- La simulation en tant qu'outil de l'optimisation de la forme
- Comment structurer les expériences et tester des hypothèses
- L'interprétation des résultats et des erreurs.

### 4) Fabrication assistée par contrôle numérique et assemblage

- Les techniques et processus de fabrication numérique, leur potentiel et leurs limitations.
- Préparation des données pour différentes stratégies de fabrication numérique en 2 et 3 dimensions à plusieurs échelles.
- L'efficacité des matériaux dans la production et la fabrication.
- Comme la fabrication informe-t-elle la recherche sur la forme
- Fabrication des prototypes de validation du concept à deux échelles :
  - Prototype à petite échelle : chaque étudiant.e développera individuellement un processus de fabrication numérique utilisant un matériau de récupération de leur choix.
  - Prototype collaboratif à grande échelle : À travers la conception et la construction d'une structure de pavillon spécifique à son site, les étudiant.e.s développeront un processus de conception itératif et collaboratif d'une structure « form-active » en tirant parti des connaissances acquises au sein de l'atelier et d'un matériau récupéré de leurs choix.

### 5) Orientation projet thèse

À la fin du trimestre, sous la direction des tuteurs du cours, chaque étudiant.e développera davantage sa propre conception d'un projet d'architecture « numérique », en tirant parti de la méthodologie et des processus développés dans l'atelier de recherche en design ARC 6801-H et dans le séminaire qui y est associé, ARC6803: *La pensée algorithmique*.

### 6803 H Séminaire de recherche

L'atelier sera enseigné en conjonction avec l'ARC 6803 H *La pensée algorithmique*. Les étudiant.e.s suivant l'atelier de recherche ARC6801 H doivent être inscrits au séminaire ARC 6803 H *La pensée algorithmique*.

Cet ensemble de compétences qu'on peut appeler la pensée algorithmique sera liée à une série de logiciels et d'outils interopérables au sein de l'écosystème Rhino et Grasshopper. Une trousse d'outils numériques, d'exemples et de didacticiels vidéo sera mis à disposition des étudiant.e.s de l'atelier et du séminaire. Le matériel sera complété par des tutoriels pour les logiciels utilisés dans les deux cours.

## Grasshopper bootcamp

Les premières semaines du trimestre seront consacrées à l'apprentissage ou l'approfondissement des connaissances techniques des étudiant.e.s. Un tutoriel intensif sur les principaux concepts requis (mathématique, géométrie, script visuel, programmation etc.) permettra d'entamer l'atelier avec la base de connaissances minimale nécessaire à une bonne approche des sujets de recherche.

## Apprentissage par rétro ingénierie

Au cours du séminaire, plusieurs exercices d'ingénierie inverse donneront aux étudiant.e.s la possibilité d'apprendre par l'exemple et de vérifier leurs connaissances en déconstruisant les techniques de conception générative utilisées pour créer certaines œuvres architecturales célèbres.

## Développement d'outils numériques

En général, l'activité du séminaire 6803 H sera consacrée à la construction de solutions numériques personnalisées (outils architecturaux) destinées à soutenir la recherche. Avec le soutien des tuteurs, les étudiant.e.s expérimenteront une multitude d'algorithmes et de concepts informatiques pour créer des outils numériques personnalisés à des fins de recherche.

## 6802 H Projet Thèse

À l'automne, au sein de leur projet thèse, avec le soutien des responsables de l'atelier, chaque étudiant.e intensifiera ses connaissances et développera davantage leur propre conception d'un projet d'architecture « numérique », en tirant parti de la méthodologie et des processus développés dans l'atelier de recherche en design ARC 6801-H et dans le séminaire qui y est associé, ARC6803: *La pensée algorithmique*. Le projet final demande aux étudiant.e.s d'examiner l'implication architecturale et la mise en œuvre du processus et des techniques de la recherche élaborée au cours du semestre d'hiver précédent. Il appartiendra à chaque étudiant.e de développer un programme et de choisir un site qui fournira le meilleur terrain d'essai pour le sujet proposé par leur projet final.

Bien que les projets finaux comprennent une collection très variée d'investigations et de propositions, les projets doivent dans leur présentation finale établir une conversation spécifique entre deux pôles du discours architectural : l'histoire disciplinaire d'un côté et le projet architecturale contemporaine de l'autre, portant spécifiquement sur les techniques et l'impact des outils numériques en architecture.