



ÉCOLE DE  
TECHNOLOGIE  
SUPÉRIEURE  
Université du Québec

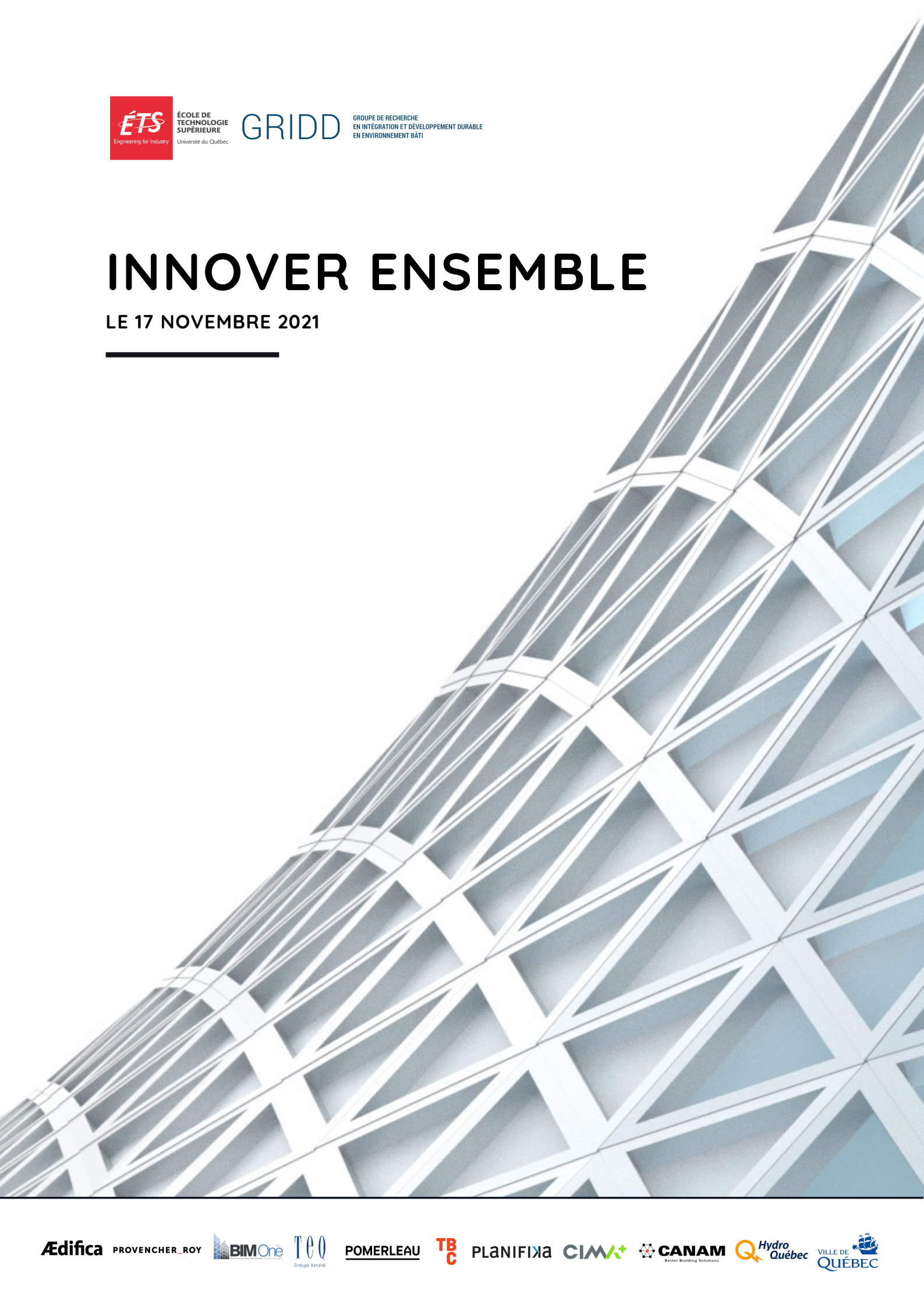
GRIDD

GROUPE DE RECHERCHE  
EN INTÉGRATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE  
EN ENVIRONNEMENT BÂTI

# INNOVER ENSEMBLE

LE 17 NOVEMBRE 2021

---



---

# TABLE DES MATIÈRES

---

Mot des organisateurs

Retour sur Innover ensemble 2020

Keynote CESI France

Automatisation des processus de l'industrie AECO

- Automatisation de la coordination multidisciplinaire
- Automatisation du suivi de l'avancement du chantier
- Évaluation de l'impact de la construction hors site sur les modèles d'affaires en construction
- Conception modulaire et fabrication numérique
- Innovation chez TBC
- Innovation chez Pomerleau

IA pour la construction

- Identification de la vitesse du vent pour la sécurité des travailleurs
- Mise en œuvre du jumeau numérique pour la Ville de Québec

Création de valeur et gestion de l'information pour la collaboration

- BIM et Lean pour la génération de valeur
- Réalisation de projets intégrés dans l'industrie canadienne
- L'Impact du langage contractuel et de la confiance sur la réussite des projets BIM
- Investigation sur les barrières à l'implantation du CDE dans l'industrie québécoise de la construction
- Sondage : comment implanter un CDE
- Valorisation des données chez Provencher\_Roy
- CDE-PLM en association avec Hydro-Québec
- Couplage physico-numérique des actifs bâtis
- Projet Dow en partenariat avec l'ETS

Conclusion

---

# MOT DES ORGANISATEURS

---

C'est toujours avec beaucoup d'émotion que nous organisons les ateliers Innover ensemble : c'est à la fois une occasion de rencontrer nos partenaire industriels et de discuter avec eux, mais aussi un moment pour faire le bilan de notre travail de recherche et d'éducation de 'personnel hautement qualifié' – nos étudiants gradués. C'est un évènement qui nous permet de faire une rétrospection, et de poser les bases pour la recherche future – toujours en fonction des besoins de l'industrie et particulièrement au service de nos partenaires de la Chaire de recherche industrielle en intégration des technologies numériques en construction.

Cette deuxième édition de l'atelier Innover ensemble a été tenue en mode hybride – sur place à l'ÉTS - dans le laboratoire du GRIDD nouvellement aménagé, et sur Zoom - pour assurer la présence d'un plus grand nombre de participants et invités. C'était une rencontre qui a finalement permis des moments de réseautage – chose dont on était privé pendant les nombreux mois de confinement.

Ouvrant la voie vers un rayonnement plus large, un Keynote de la France – Franck Guillamot, nous a présenté les meilleures pratiques en matière d'enseignement du BIM et d'innovation numérique au CESI en Occitanie. Les présentations et les discussions qui ont suivi, ont mis en valeur quelques projets de recherche déjà finis et plusieurs autres - en cours de réalisation. Cet atelier est un évènement important pour les étudiants, car ils ont l'occasion d'avoir un contact direct avec l'industrie, de faire valoir leurs projets, et de pratiquer leurs capacités de vulgarisation scientifique. Cette tribune scientifique permet également d'apprendre sur les innovations en voie d'adoption par nos partenaires industriels. Ainsi, TBC, Pomerleau et Provencher\_Roy nous ont présenté des facettes de leurs innovations technologiques.

Pour la troisième édition d'Innover ensemble – en novembre 2023, nous planifions un évènement plus inclusif au niveau des groupes de recherche et universités québécois, ainsi qu'un rayonnement qui dépasse les frontières du Canada. Votre contribution sera très appréciée!

---

# RETOUR SUR INNOVER ENSEMBLE 2020

---

Le premier atelier Innover ensemble a réuni les partenaires, étudiants et professeurs du GRIDD le 06 Novembre 2020. Marquant le lancement officiel du programme de recherche RDC et Prompt, cette première édition a permis de poser les bases de ce qui devient un rendez-vous annuel autour de l'innovation dans le domaine de la construction au Québec mais aussi pourquoi pas, dans le monde.

Les objectifs du précédent atelier étaient de partager les projets de la chaire comme les pratiques d'innovation chez les partenaires et d'identifier les enjeux présents lors de la collaboration entre la chaire et les partenaires. Trois types d'enjeux ont été identifiés :

- La divergence entre les projets et pratiques de recherche et entre les projets et pratique industrielles;
- La difficulté à coordonner les projets en matière d'échéancier et d'organisation de la collaboration;
- L'intégration des étudiants aux projets et aux organisations des partenaires.

Deux solutions avaient été identifiées pour palier à ces problématiques, elles sont maintenant mises en place au sein de la chaire.

- Démarrer les projets de recherche des étudiants au début de la session d'hiver :

Ceci permet de mieux s'accorder aux programmes et échéancier des professionnels de la construction d'une part et une meilleure collaboration entre les pôles académiques et industriels, étant donné qu'une session entière est allouée à la préparation du projet de recherche et à la formation de l'étudiant avant de passer au développement ou à la collecte d'informations. Cet hiver 11 nouveaux étudiants ont rejoint les rangs du groupe de recherche et ont entamé leur projet avec nos partenaires industriels. Ceci démontre l'engagement de la direction de la chaire dans l'application des solutions issues de la consultation de l'industrie

- Une meilleure diffusion des projets de la chaire

Diffuser les projets de la chaire aux partenaires passe par trois canaux, préparer les projets futurs et s'assurer que ceux-ci correspondent aux besoins des partenaires comme aux objectifs de la chaire de recherche. Faire un suivi sur les projets en cours pour favoriser la collaboration entre plusieurs partenaires notamment. Enfin partager les résultats des projets terminés et communiquer comment ceux-ci s'insèrent dans la continuité des objectifs de la chaire et de ceux des partenaires. La diffusion des projets futurs et en cours passe par l'implication des partenaires aux réunions mensuelles de la chaire de recherche tandis que la diffusion des projets terminés passe par des événements tels les rencontres innover ensemble et à travers le site-web [innoverensemble.ca](http://innoverensemble.ca)



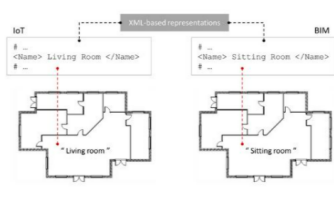
GRIDD

Accueil Actualités Partenaires Objectifs Projets Recherche Contact GRIDD En

<p><b>Objectifs de la chaire</b></p> <p>La Chaire industrielle pour l'intégration des technologies numériques en construction s'est donné pour mission de faire globalement progresser l'industrie afin de briser les barrières entre ses différents acteurs. C'est pourquoi elle s'applique à encourager la collaboration, la création d'une culture de l'innovation dans le milieu de la construction et le développement de l'agilité organisationnelle, afin que les entreprises puissent composer avec les changements rapides qu'entraîne l'utilisation des technologies numériques. La Chaire affiche un objectif aussi simple qu'ambitieux : placer le Québec parmi les 10 premiers utilisateurs mondiaux du BIM d'ici 5 ans.</p>	<p><b>Objectif 1</b></p> <p>Création de la valeur</p>	<p>1.1 VALEUR POUR LE PROPRIÉTAIRE</p> <p>1.2 RETOURS SUR INVESTISSEMENT</p> <p>1.3 MAXIMISER LA VALEUR</p>
	<p><b>Objectif 2</b></p> <p>Automatisation et IA</p>	<p>2.1 SUIVI AUTOMATISÉ AU CHANTIER</p> <p>2.2 CADRE INTÉGRÉ BIM / IDO</p> <p>2.3 CONSTRUCTION HORS-SITE</p>
	<p><b>Objectif 3</b></p> <p>Environnements et technologies numériques de collaboration</p>	<p>3.1 APPROCHES COLLABORATIVES POUR LA RÉALISATION DE PROJET</p> <p>3.2 FLUX DE TRAVAIL COLLABORATIFS</p> <p>3.3 ENVIRONNEMENT DE DONNÉES COMMUNS</p>
<p><b>Projets futurs</b></p> <p>Liste des projets futurs</p>		

Page de présentation des projets

AUT 201    HIV 202    ÉTÉ 202    AUT 202    HIV 202




Enjeu de l'interopérabilité entre les outils BIM et IoT

### 2.2.1 IA POUR UNE ARCHITECTURE ORIENTÉE SERVICES

Les recherches de Mehrzad se concentrent sur la création de jumeaux numériques de bâtiment en établissant un pont entre les environnements BIM basés sur le nuage et les systèmes de l'Internet des objets (IIo-IoT). Ses recherches portent sur la manière dont les modèles BIM existants peuvent être enrichis avec des flux de données de capteurs en direct pour fournir une vue intégrée des données du cycle de vie du bâtiment. Pour répondre à cette question, son étude s'est attachée à examiner l'efficacité de l'utilisation d'ontologies et de protocoles de communication ouverts pour améliorer l'interopérabilité syntaxique et sémantique entre les écosystèmes BIM et IIo.

Ses recherches portent également sur un cadre d'analyse des données alimenté par l'IA qui permet la découverte de connaissances à partir de bases de données de construction liées sémantiquement, et sur une procédure de réutilisation des connaissances en fonction du contexte, soutenue par le pouvoir de raisonnement automatisé des ontologies. La disponibilité d'une telle couche analytique contribue à la création de divers modèles de simulation et de prévision qui peuvent être utilisés pour faire des prédictions précises sur l'état et le comportement futurs des bâtiments en se basant sur des observations en temps réel.

Enfin, il étudie l'utilité de la réalité augmentée/virtuelle (AR/VR) pour l'analyse visuelle des bâtiments en permettant des visualisations immersives et intuitives des données BIM et IIo, ainsi qu'en reliant les interfaces AR/VR à la couche d'analyse développée pour fournir aux opérateurs et aux gestionnaires de bâtiment des recommandations contextuelles pour les applications du monde réel.



**Mehrzad Shahin-Moghadam**  
Candidat au doctorat en génie de la construction

←    →

Fiches des projets RDC

---

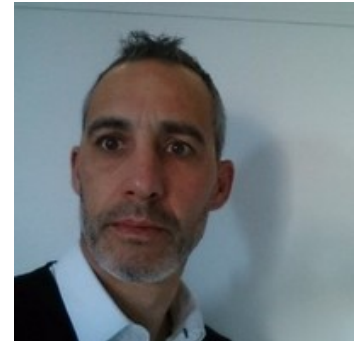
# CESI FRANCE



FRANCK GUILLAMOT

Le Groupe BIM Occitanie réunit des campus d'apprentissages et des lieux d'innovation pour être plus près des entreprises et des organismes de formation pour innover avec eux. Le campus représente maintenant 7000 apprenants, 26 structures d'enseignement et 48 organisations. Quatre enjeux majeurs sont développés sur le campus :

- L'apprentissage par et pour le numérique
- La recherche et l'innovation avec les entreprises
- Une attractivité des métiers et des formations
- Un campus ouvert à l'international.



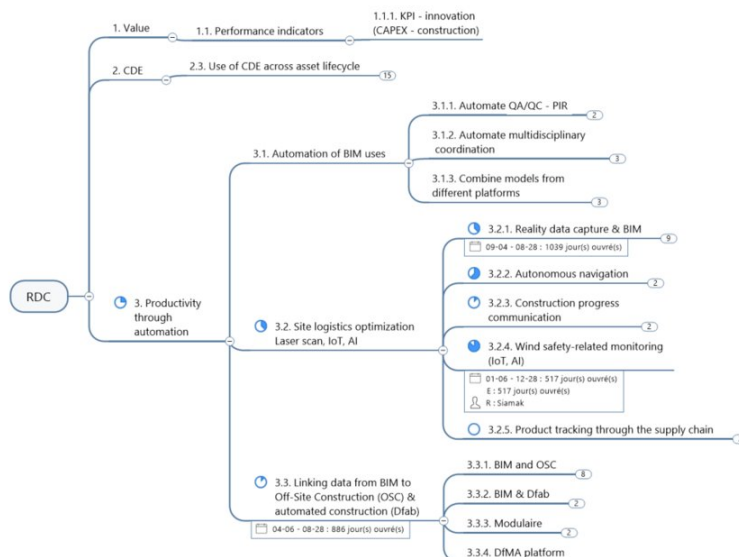
Le Groupe a fait des relations internationales l'un de ses piliers pour son développement. C'est pourquoi, la collaboration entre le CESI et le GRIDD représente une étape importante. Durant leur visite, les responsables du CESI ont pu amorcer la discussion avec les partenaires industriels du GRIDD, et observer et commenter les relations entre les projets recherche en cours, la mise en place du programme de DESS en modélisation du bâtiment et les besoins actuels et futurs de l'industrie au Québec. La prochaine étape de cet échange passera par une visite des responsables du GRIDD en Occitanie.

# AUTOMATISATION DES PROCESSUS DE L'INDUSTRIE AECO

Le second axe de la chaire se concentre sur l'amélioration de la productivité et la génération de valeur à travers l'automatisation des processus.

L'accélération technologique dans l'industrie de la construction a été provoquée et amenée par le déploiement du BIM qui a été le pivot rendant possible l'utilisation d'autres nouvelles technologies. Le second axe des programmes CRSNG et Prompt touche donc à la robotique, à l'automatisation des processus BIM, que ce soit au chantier ou pour la fabrication, aux objets connectés (IoT) et enfin à l'intelligence artificielle.

Au cours de l'été, un atelier a été organisé avec l'aide des partenaires pour prioriser les prochains projets à mettre en place. La représentation en arborescence présentée à la figure 1 permet de visualiser le déploiement des projets en cours ainsi que leur complétion. Trois projets sont résumés ici, ils concernent l'automatisation de la coordination multidisciplinaire, l'automatisation du suivi de l'avancement au chantier et enfin la construction hors-site et fabrication numérique. Enfin, les partenaires de la chaire Pomerleau et TBC.



---

## AUTOMATISATION DE LA COORDINATION MULTIDISCIPLINAIRE

MEEM TABASSUM MUSHTARY

Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées pour rendre plus efficace le processus de coordination multidisciplinaire basé sur la modélisation des informations du bâtiment (BIM). Cependant, des augmentations imprévues des coûts et des retards dans les projets de construction se produisent toujours.



L'élimination des obstacles pour une coordination multidisciplinaire efficace basée sur la modélisation des informations du bâtiment (BIM) est un domaine de recherche actif et la littérature propose plusieurs cadres de solutions qui devraient augmenter l'efficacité de la coordination multidisciplinaire dans l'industrie. Ce projet présente un aperçu de la littérature sur ces cadres de solutions efficaces qui aident à identifier et à orienter vers la résolution des conflits de conception. Dans la littérature existante, les obstacles ayant un impact plus important sur la coordination multidisciplinaire BIM sont classés respectivement en processus, acteurs, contexte de la tâche et équipe. Les implications de chacune de ces catégories sont considérées pour des phases distinctes de la coordination multidisciplinaire. En outre, des solutions efficaces sont étudiées, par exemple la connaissance partagée de la situation, les travaux en cours ouverts, les stratégies de construction allégée, les cadres d'apprentissage automatique supervisés et hybrides, etc. Nous établissons ensuite les liens entre ces obstacles, leurs solutions et les phases de coordination où ils sont le plus applicables. À notre connaissance, il s'agit du premier travail qui présente une vue d'ensemble consolidée des cadres de solutions, ce qui aidera les chercheurs et les professionnels du BIM à identifier la portée de la recherche actuelle et à comprendre les futures directions de recherche.

# AUTOMATISATION DU RELEVÉ, SUIVI DE L'AVANCEMENT DU CHANTIER



LÉO MARCY, SINA KARIMI, ETHIENNE CLEMENT ET RAFAEL GOMEZ BRAGA



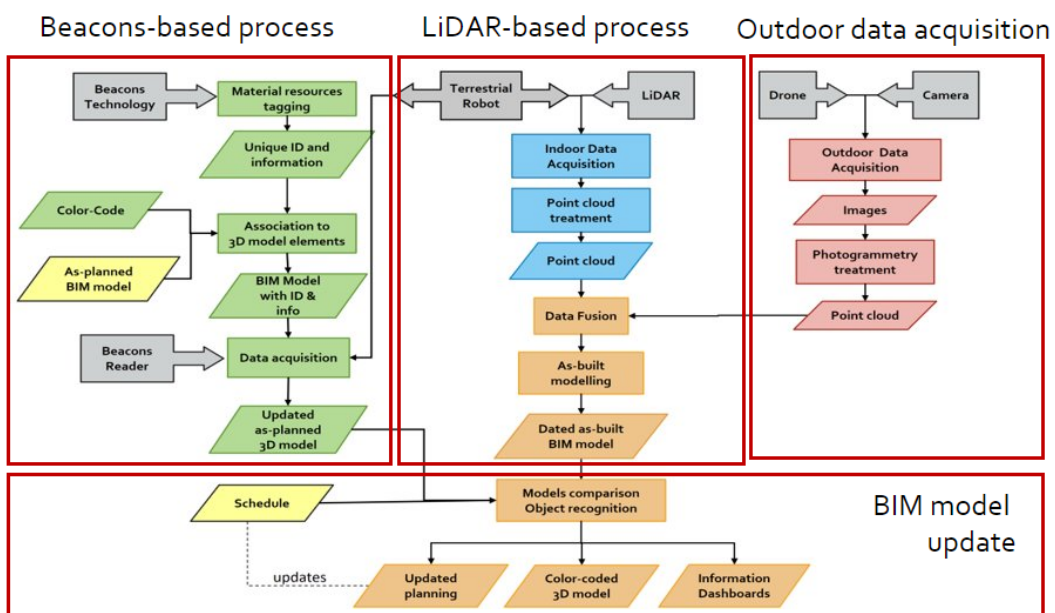
Le suivi du projet représente une tâche manuelle et chronophage. De plus, elle est actuellement assez peu précise. C'est une tâche qui gagnerait à être automatisée.

Les objectifs de ce projet de recherche sont de développer une méthode de suivi automatisée de l'avancement des travaux sur le chantier.

Ce suivi se ferait à travers :

- Une collecte automatisée des données, via un rover autonome et une fusion automatique des données collectées;
- Une comparaison entre le modèle tel que construit (issu du suivi au chantier) et le modèle de planification grâce à une reconstitution 3D;
- Une génération automatisée des tableaux de bords.

Ce projet a débuté par la mise en place d'un cadre complet pour le suivi au chantier impliquant des systèmes basés sur des balises, des systèmes tridimensionnels, donc des nuages de points et des systèmes d'acquisition par lidar, le tout pour une mise à jour du modèle 4D BIM.



Operational framework for holistic automatic progress tracking system

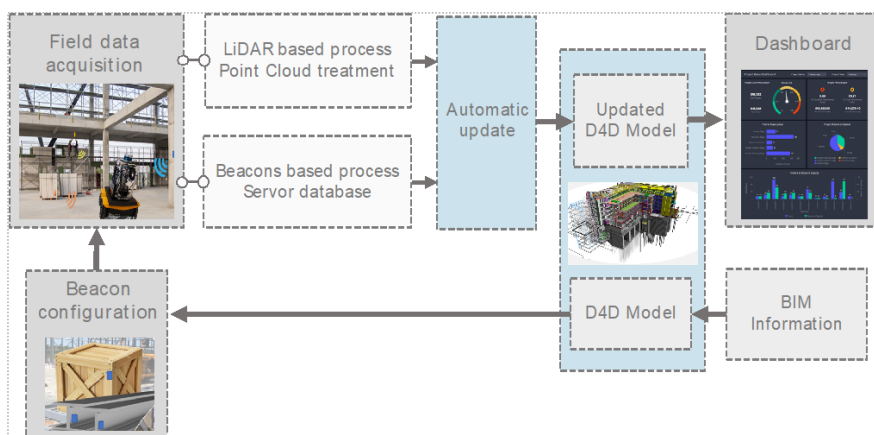


Un scénario a ensuite été développé pour tester ce cadre sur les chantiers en intérieur. Ce projet a été mis en place en partenariat avec Pomerleau et l'étudiant a gagné les CanBIM innovation Spotlight Awards.

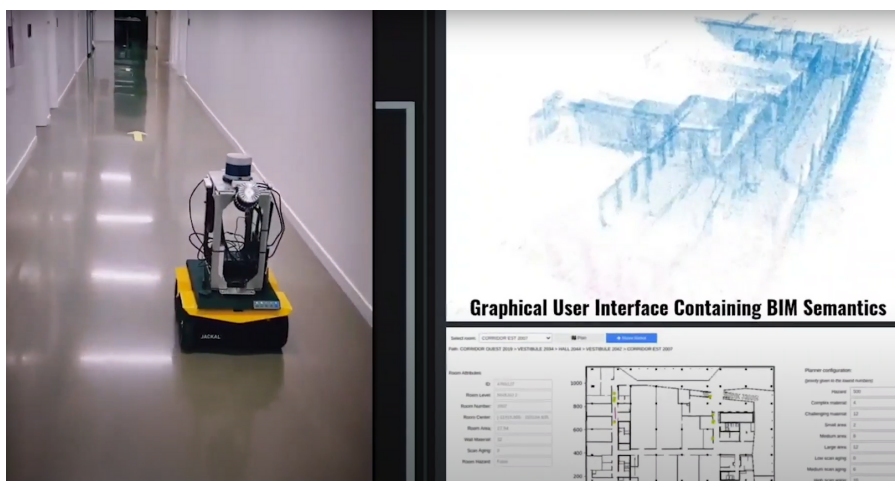
Pour la suite de ce projet, nous travaillons à augmenter la qualité du nuage de points. Nous collaborons aussi avec les laboratoires INIT Robot et MIST pour le développement des processus axés sur les balises notamment, pour réduire les interférences dues à la sensibilité de chaque technologie. Enfin nous travaillons aussi à l'amélioration de la création du modèle D4D (Dated 4D Model).

Les prochaines étapes du projet sont les suivantes :

- Fusionner le système basé sur les balises dans le processus de reconstruction;
- Utiliser le nuage de points colorés provenant d'autres sources (caméras de profondeur) pour améliorer la qualité du nuage de points;
- Automatisation de la reconstruction 3D à l'aide de techniques d'apprentissage automatique et de vision par ordinateur;
- Suivi semi-automatique de la progression.



Overview of the developed beacon and LiDAR-based system for progress tracking





## ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA CONSTRUCTION HORS SITE (CHS) SUR LES MODÈLES D'AFFAIRES EN CONSTRUCTION

MAROUENE MEJRI, AHMED BOUDAOUARA, VIRGINIE  
RAISSA MESSA SOKOUDJO

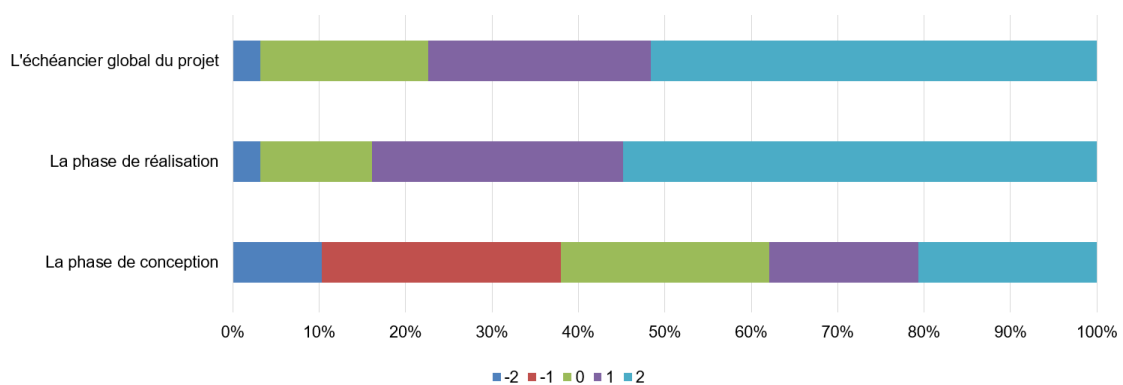
Ce projet visait à observer l'impact de la construction hors-site sur le modèle d'affaires des architectes comme sur le modèle d'affaires des constructeurs.

Selon McGraw-Hill construction, (2018) la CHS a des impacts positifs à travers le temps, le coût et les déchets produits lors du chantier. En effet, 66% des professionnels ont pu accélérer leur échéancier de projet, 65% des professionnels ont pu réduire les coûts globaux de leurs projets et 77% des professionnels ont affirmé avoir réduit les déchets de construction dans leurs projets.

Un sondage a été réalisé pour l'ACQ et l'ARGTQ pour connaître l'impact de la CHS sur ces points au Québec



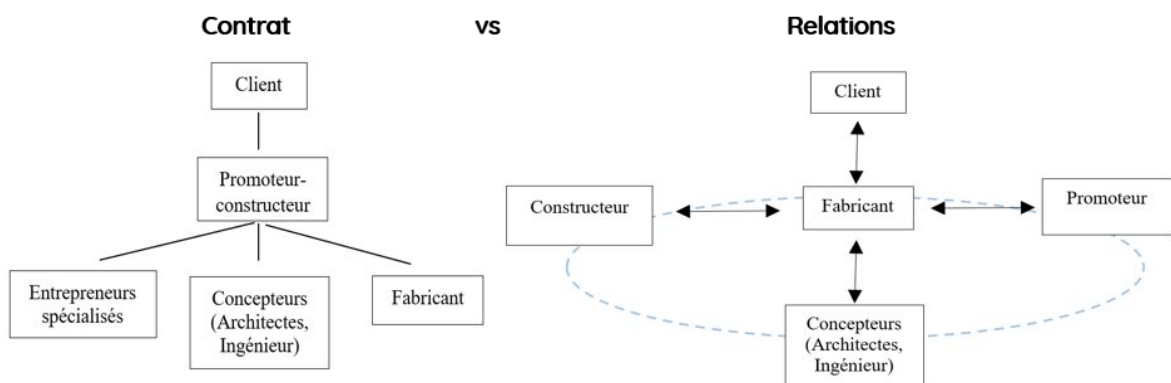
Une question intéressante qui a été abordée concernait l'impact de la CHS sur les échéanciers associés au projet de construction par phases. Comme le montre la figure ci-dessous on remarque que l'échéancier global est réduit tout comme la phase de réalisation du projet. Cependant, la phase de conception ne change pas, car il faut laisser le temps à l'équipe de conception de concevoir et planifier un bâtiment performant.



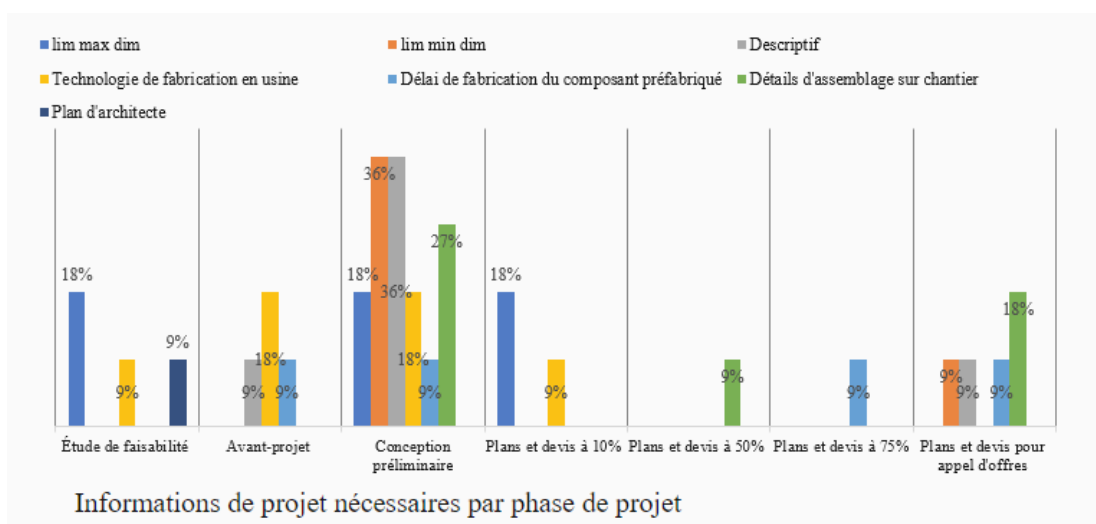
Impact de la CHS sur les échéanciers associés à un projet de construction (N=34)

Barrières à l'utilisation de la préfabrication modulaire volumétrique de bois au Québec : étude de cas du passage d'un système préfabriqué unifamilial au multifamilial

Toujours dans le domaine d'étude de la construction hors-site, une étude de cas a été conduite dans le cadre d'un projet de préfabrication modulaire en bois. L'étudiante a observé les relations contractuelles et les relations informelles des parties prenantes pendant le projet. Comme présenté dans la figure suivante, on peut remarquer qu'au niveau contractuel, c'est le promoteur qui est au centre tandis qu'en réalité c'est le fabricant qui est au centre des échanges.



Une autre information qui a été demandée dans le même sondage, ce sont les informations de projet nécessaires par phase de projet. On remarque une forte concentration des besoins en information lors de la phase préliminaire.



---

## CONCEPTION MODULAIRE ET FABRICATION NUMÉRIQUE

WALID ANANE

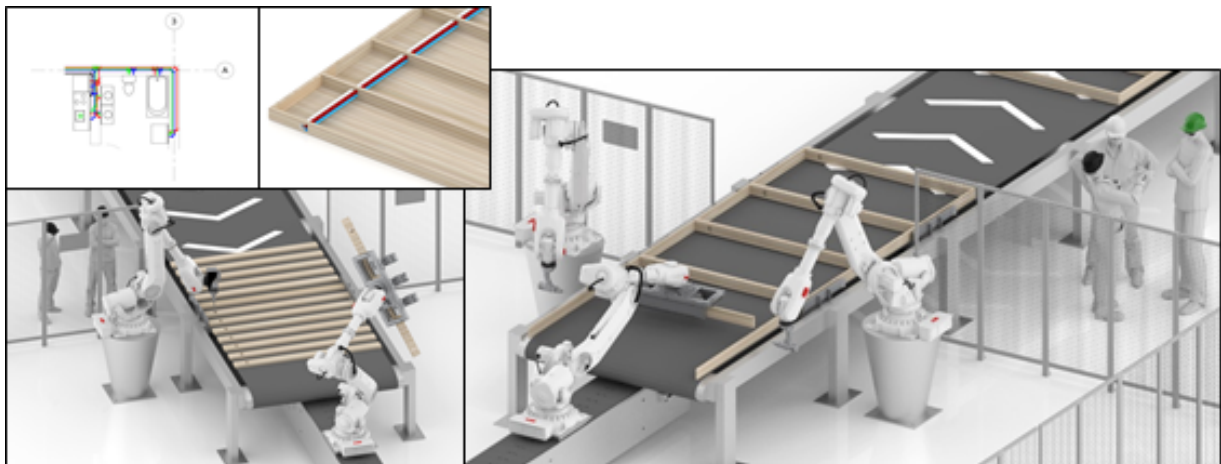
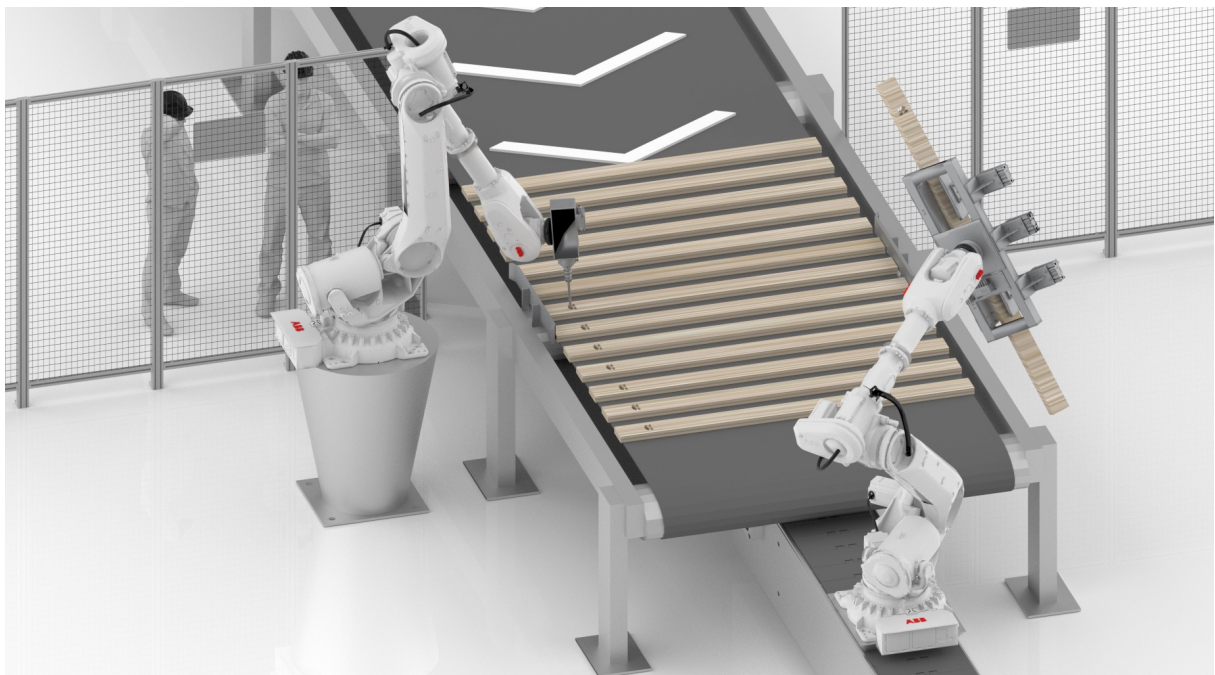
L'architecture discrète est reconnue comme une approche de conception computationnelle qui utilise des algorithmes pour générer des agrégations recombinaisons. Il s'agit d'une innovation prometteuse visant à accroître la productivité du processus de conception grâce à l'adaptabilité des agrégations qu'elle génère.



Dans l'environnement bâti, la conception discrète est généralement identifiée à la méthode modulaire. Cette méthode de construction est basée sur l'agrégation de différents modules qui sont assemblés selon des connexions prédéfinies et qui assurent l'intégrité et la fonctionnalité du bâtiment. Elle implique de la fabrication hors site, et ainsi un environnement contrôlé qui garantit une plus grande prévisibilité face aux intempéries et aux changements. Cependant, similairement aux pratiques de construction conventionnelles, la fragmentation des processus de construction modulaire entrave sa productivité. Par conséquent, cette approche de construction nécessite des technologies et des outils de communication adéquats pour améliorer la collaboration et la productivité au cours des projets. L'article présenté à l'événement "Innover ensemble" vise à répondre à ces défis en adoptant une approche computationnelle pilotée par le BIM pour les processus de conception et de préfabrication.

Selon la définition de Retsin (2019), la discrétion en architecture est associée à la notion d'individualité. Elle n'est pas liée à la continuité, mais à ce qui est séparé des autres composants. Ces principes fondamentaux sont contraires aux notions de BIM, qui s'appuient sur la continuité des processus pour remédier à la fragmentation de l'industrie AEC. En réunissant ces concepts, cet article démontre l'utilisation de la conception computationnelle pour développer des structures modulaires avec une approche de conception discrète pilotée par le BIM. Cette démarche vise à fournir un processus de fabrication automatisé exécuté par des bras robotisés. C'est une présentation qui propose un cadre pour l'utilisation de ces différents concepts, apparemment distincts dans leurs fondements mais profondément liés dans leur application au sein de projets de construction. Le cadre développé est finalement expérimenté à travers un projet résidentiel modulaire conçu à partir de concepts de l'architecture discrète et préfabriqué hors site par des robots. Avec l'automatisation des pratiques de fabrication modulaire, une approche de conception discrète basée sur le BIM définit une boucle de rétroaction entre les processus de fabrication et ceux de conception. Elle permet de développer des stratégies pour la fabrication de composants adaptables et permutables. Ces composants peuvent être assemblés par des bras robotisés pour former des modules qui seront transportés sur le site de construction, où ils seront assemblés.

L'utilisation de processus BIM intégrant des outils de conception informatique pour concevoir, collaborer et fabriquer des modules hors-site, favorise le développement d'un flux de travail centralisant les informations. Ce flux de travail permet la distribution de produits dans des délais réduits et une qualité accrue. L'interopérabilité entre les outils robotiques et les outils de conception discrets pilotés par le BIM permet une adaptabilité instantanée des parcours de fabrication. En effet, en agissant comme un puissant outil de conception computationnelle adaptable au changement, les bras robotisés acquièrent la faculté de s'adapter au changement.



## INNOVATION CHEZ TBC



### GENEVIEVE CONTANT

TBC Constructions est un entrepreneur spécialisé en électromécanique du bâtiment se composant d'environ 400 employés (bureaux et chantiers) dans 3 disciplines, soit plomberie/chauffage, ventilation/climatisation et électricité. L'entreprise réalise des travaux d'envergure dans les domaines industriel, commercial et institutionnel tels que des hôpitaux, des complexes hôteliers, des entrepôts, etc. La mission de TBC est de relever les défis posés par la construction moderne en innovant sur la base d'une expertise [...].



La préfabrication et la construction hors site étant au cœur des pratiques et développement chez TBC, l'innovation y occupe une place importante. L'intégration du BIM a commencé en 2015, mais le grand virage numérique et technologique a été fait en 2017 vers une gestion sans papiers. Les premiers objectifs du virage étaient les suivants :

- Rendre les chantiers plus efficaces en centralisant toutes l'informations à un seul endroit;
- Adopter une philosophie collaborative;
- Se préparer aux changements technologiques à venir;
- Répondre à la demande des entrepreneurs généraux.

Une étape importante a été de fournir aux contremaîtres sur le chantier du CHUM des tablettes. L'avantage d'avoir l'information à portée de doigts a rapidement été constaté et l'utilisation de tablettes a été fait à plus grande échelle afin que tous les contremaîtres puissent avoir accès au modèle 3D de leur projet. Par la suite, une synchronisation entre les serveurs internes et une solution Cloud a été mise en place afin que le chantier puisse avoir toujours accès aux plans, devis, directives, etc., et ainsi éviter le transport de documents entre le bureau et le chantier.

Les logiciels des dessinateurs ont été choisis et sont régulièrement analysés afin de permettre l'automatisation des tâches répétitives et sans valeur ajoutée. En ce moment, les conduits de ventilation sont automatiquement transformés selon le standard de l'entreprise et le positionnement des supports est fait par le logiciel. Il est ainsi possible de préparer à l'avance les supports (coupés et identifiés) afin d'avoir une installation rapide et efficace en chantier à l'aide d'une station totale. L'équipe de modélisation réalise des maquettes numériques très précises afin de permettre la fabrication en usine et l'assemblage hors-site. Par exemple, des conduits de ventilation, de plomberie ou d'électricité sont livrés assemblés et sur leur support en chantier, il ne manque plus qu'à les accrocher à la dalle; des salles mécaniques sont fabriquées en usine et livrées pour ensuite être installées et connectées.

En 2021, TBC a nommé une responsable pour l'innovation et l'amélioration continue afin d'analyser les technologies offertes sur le marché. Un projet-pilote avec un PMS (project management system) a débuté, les objectifs étant de pouvoir se connecter avec l'entrepreneur général et ainsi diminuer les échanges infinis de documentation, une synchronisation facile et rapide entre le bureau et le chantier, des outils adaptés à la gestion documentaire, etc. Un plan de transformation numérique est aussi en cours au sein de l'entreprise.

## INNOVATION CHEZ POMERLEAU

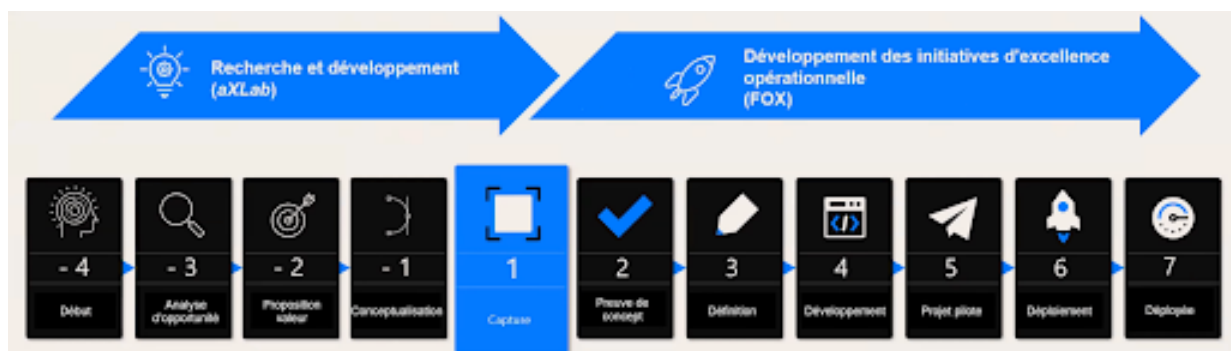
**POMERLEAU**

### LIEU DAO

Pomerleau est un entrepreneur général opérant partout au Canada, L'entreprise compte environ 2000 employés et compte l'innovation parmi ses valeurs institutionnelles. Elle possède aussi une équipe de recherche et développement à temps plein. Les axes de recherche abordés chez Pomerleau comptent de façon non exhaustive : le planning, l'IoT, l'impression 3D, l'intelligence artificielle, etc...



L'innovation chez Pomerleau répond à un cadre de développement et de déploiement qui permet de systématiser l'intégration d'innovations et de nouvelles pratiques au sein de l'organisation. La première partie (étapes -4 à -1) sert au développement de l'idée avec un système de jalons pour déterminer si le développement vaut le coup ou non. La seconde partie, de la preuve de concept au déploiement vient du besoin capté (en étape 1) par les équipes. Elle permet le déploiement des technologies et aussi leur maintien



Au niveau de la robotique, l'objectif était de découvrir comment la robotique avancée peut être utilisée sur le chantier de construction, notamment pour l'automatisation de tâches répétitives et de faible valeur et pour permettre l'augmentation de la capacité à répéter des tâches à forte valeur ajoutée.

Pomerleau collabore avec Boston Dynamics pour l'utilisation du robot quadrupède Spot pour la capture de données automatisées et autonome. Actuellement les collectes de données sur chantier sont faites de façon manuelles, sans grande attention par rapport au progrès réel qui est fait. De plus, la plus part des robots fonctionnent actuellement de façon répétitive, ici avec l'ajout d'intelligence artificielle, Spot peut effectuer des actions spécifiques. Spot est doté de caméra 360 et d'un Scan, il peut scanner des QR codes, uniquement là où il y a du progrès sur le chantier. Permettant à Spot de traquer intelligemment les progrès effectués.



---

## IA POUR LA CONSTRUCTION

Cinq projets sont actuellement en cours concernant l'intelligence artificielle. Le premier est à propos de l'utilisation des IoT et de l'IA pour la prédiction de la vitesse du vent au chantier. Trois autres projets concernent l'utilisation de la vision par ordinateur. Tout d'abord pour le contrôle de la qualité, en partenariat avec Canam et Mitacs, un premier projet vise à identifier les défauts de soudure sur les solives d'acier, il en est à la phase 2. Ensuite, un second projet supporté par Mitacs concerne l'identification du matériel sur les camions, il en est à la phase de planification.



Un troisième projet en vision par ordinateur aborde le Scan-to-BIM, l'objectif est d'identifier et localiser les éléments du bâtiment à l'aide de capteurs portatifs ( Camera RGBD ), il s'agit d'identifier les éléments et de les remplacer par les éléments du modèle, ce projet est soutenu par notre partenaire Planifika, ainsi que par le programme Mitacs . Dans le dernier projet, nous utilisons des algorithmes de reconnaissance de formes basés sur l'IA pour identifier les problèmes et les anomalies des bâtiments. La reconnaissance des formes sera appliquée à une base de données intégrée de données BIM et IoT. Nous analysons les données historiques conservées dans les systèmes BAS ainsi que les données en direct fournies par les systèmes IoT disponibles dans le bâtiment. Le projet a commencé et est basé sur les fonds CRSNG du professeur Motamedi.

# IDENTIFICATION DE LA VITESSE DU VENT POUR LA SÉCURITÉ DES TRAVAILLEURS

SIAMAK RAJABI

Les travailleurs de l'industrie de la construction font face à un taux élevé de potentiels accidents et d'incidents. Les risques les plus courants sur le site de construction sont les risques de chute et les risques de blessures dus à la chute d'un équipement. Les conditions climatiques affectent particulièrement la sécurité des travailleurs, notamment les vents violents. C'est pourquoi la direction et la force du vent devrait être contrôlée régulièrement, cependant il s'agit d'une tâche répétitive donnant lieu à des erreurs. D'autre part, les données sur la vitesse du vent proviennent de rapports météo ou de la météo locale, ils ne prennent pas en compte la position de chaque travailleur et ne sont pas en temps réel.

L'objectif de ce projet de recherche est de fournir une surveillance des données de vent en temps réel et un système d'alertes pour améliorer la sécurité par rapport aux conditions de vent.

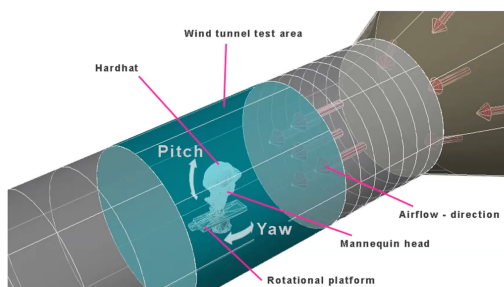
Pour cela, l'étudiant a conçu un casque de protection équipé de capteurs pour collecter la vitesse et la direction du vent pour chaque travailleur en temps réel. Les capteurs permettent de collecter les données qui sont envoyées par connexion sans fil au logiciel qui utilise une solution d'intelligence artificielle prédictive pour pouvoir prévoir les conditions de vent. Ensuite, l'interface logicielle peut transmettre une alerte au responsable de la sécurité.

Pour entraîner le modèle prédictif une base de données à du être créée. Pour cela, l'étudiant a réalisé une plateforme de collecte de données composée d'une soufflerie et d'un plateau rotatif.

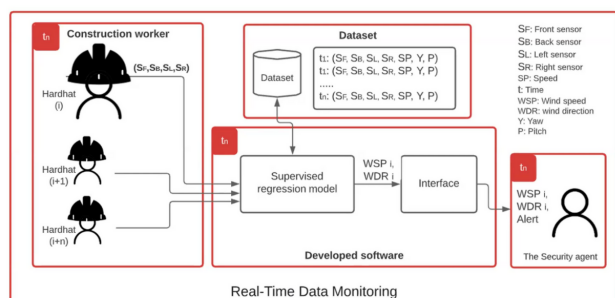
## Proposed Hardware System – Sensor-equipped Hardhat



## Data Collection (Dataset creation)



## Proposed Solution



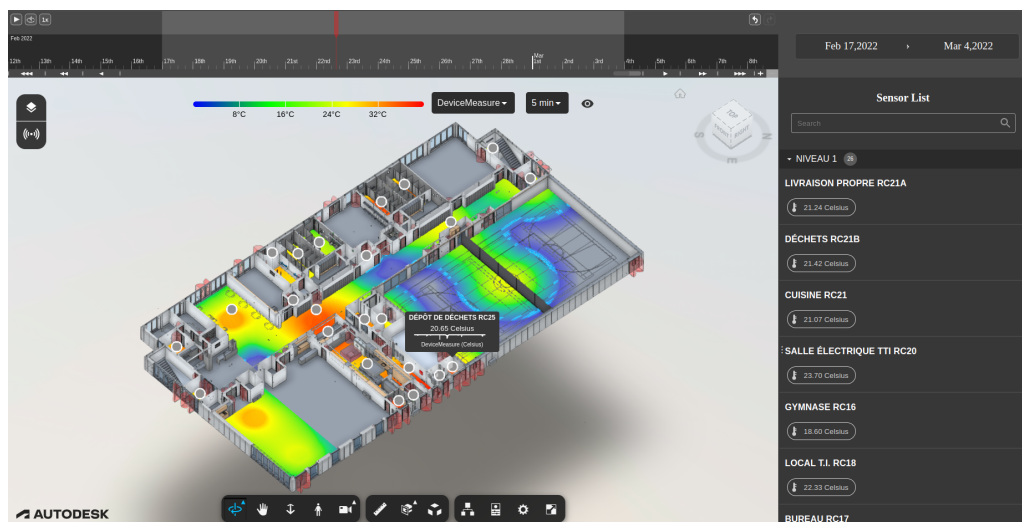
## MISE EN OEUVRE DE JUMEAU NUMÉRIQUE POUR LA VILLE DE QUÉBEC

ASAD SHAHINMOGHADAM - PEZHMAN SHARAFDIN



Le projet comporte plusieurs phases. Dans la première phase, nous avons analysé les indicateurs clés de performance actuellement utilisés par la Ville de Québec (VdQ) pour l'optimisation énergétique. Dans la deuxième phase, nous avons créé un jumeau numérique pour un centre communautaire de la Ville de Québec et nous avons connecté des capteurs d'humidité et de température au jumeau numérique. Les opérateurs du bâtiment sont maintenant capables de visualiser le modèle virtuel du bâtiment sur le web et ont accès aux données en direct et historiques des capteurs. La visualisation comprend également des cartes thermiques de la température dans le bâtiment.

Cette phase du projet a été très difficile en raison du fait que les données des systèmes d'automatisation des bâtiments n'étaient pas accessibles en dehors de l'environnement informatique de la VdQ. De plus, nous avons développé un jeu de données intégré sur le cloud pour pouvoir gérer les données. Le projet va progresser en ajoutant de nouveaux KPI d'optimisation énergétique et des algorithmes de prédiction qui seront visualisés et accessibles dans l'environnement des jumeaux numériques.

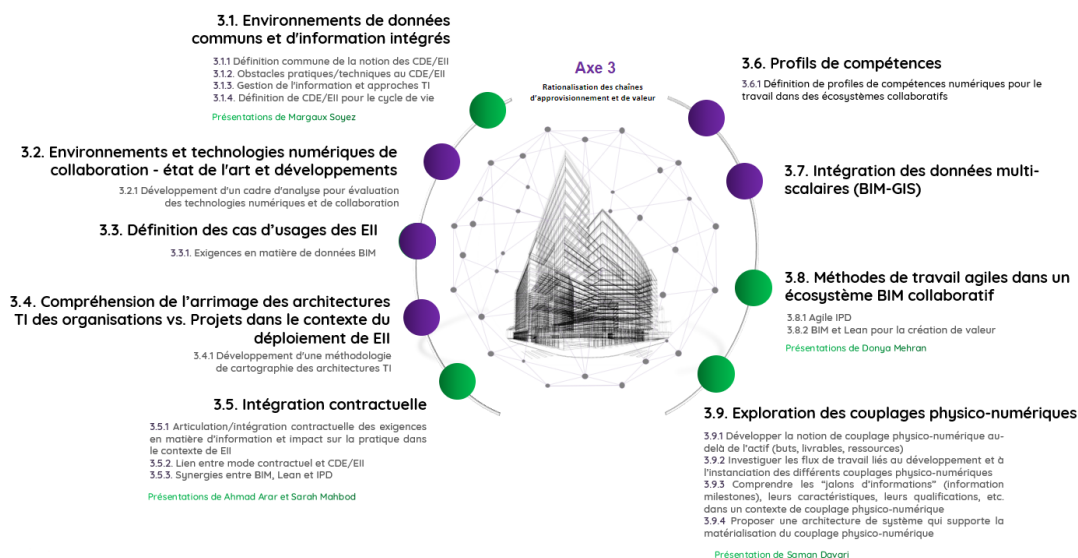


# CRÉATION DE VALEUR, GESTION DE L'INFORMATION POUR COLLABORATION

Les axes 1 et 3 de la chaire de recherche sont étroitement liés. L'objectif de l'axe 1 est de proposer un nouveau modèle d'affaires pour l'industrie centré sur la maximisation de la valeur dans la gestion d'actifs pour l'ensemble de leur cycle de vie, il propose une approche visant à inverser la chaîne de valeur en plaçant les décideurs au premier plan du processus de planification/conception des bâtiments. L'objectif de l'axe 3 se situe dans sa continuité directe puisqu'il propose une centralisation et gestion des informations du cycle de vie via des écosystèmes numériques collaboratifs.

Parmi les sous-objectifs du troisième axe de recherche l'on retrouve:

- Comprendre les obstacles pratiques et techniques qui entravent le déploiement des solutions actuelles de l'environnement commun de données (CDE)
- Développer des approches de gestion de l'information et des solutions technologiques pour éliminer les obstacles aux CDE et faciliter un traitement Lean de l'information dans un environnement de données commun.
- Proposer des solutions pour étendre l'utilisation du CDE tout au long du cycle de vie de l'actif construit, notamment pour la réduction de l'impact énergétique grâce aux IoT.



Pour donner suite au développement des projets de l'axe 3, un atelier de co-création de la feuille de route de recherche a été organisé. Durant cet atelier, les partenaires ont pu discuter autour des enjeux relatifs à l'adoption des CDE dans leurs organisations respectives et de leurs attentes par rapport à la recherche dans ce domaine. Les enjeux recueillis ont ensuite été classés pour faire ressortir les problématiques racines dont ils découlent en majorité. Suite à ceci, une douzaine de proposition de projet ont été présentés aux partenaires qui ont eu pour mission de les classer en fonction de leur importance et de leur urgence dans une matrice allant de 1 à 6 comme présenté dans la figure ci-dessous. Les projets ont été priorisés en fonction d'un score attribué grâce à la matrice. Deux de ces projets prioritaires sont actuellement en cours :

- Définir une proposition de valeur claire pour les EII/EDC, notamment en évaluant la performance des différents systèmes, pratiques, normes, et outils, etc...
- Définir des méthodes pour assurer l'interopérabilité des différents systèmes d'information déployés au niveau de l'actif, de l'organisation et du projet.

Les projets présentés dans le cadre de l'axe 3 abordent :

- Le BIM et le Lean pour la génération de valeur dans l'industrie des actifs bâtis selon une perspective de gestion de l'information.
- La réalisation de projet intégré dans l'industrie canadienne des actifs bâtis.
- Une enquête sur le couplage des actifs et des recours physiques et numériques à travers les étapes du cycle de vie de l'environnement bâti.



---

## BIM ET LEAN POUR LA GÉNÉRATION DE VALEUR

DONYA MEHRAN



Malgré les quelques tentatives existantes pour résoudre la mauvaise gestion du flux et la perte de valeur du cycle de vie des actifs construits en reconnaissant les avantages des synergies entre BIM et Lean, la gestion du flux d'informations adéquat ou, en d'autres termes, le traitement de l'information (IP) principalement entre la construction et la gestion du cycle de vie des actifs n'est pas bien comprise du point de vue de la gestion de l'information (GI). Ainsi, pour surmonter l'absence de compréhension holistique sur la façon dont une GI efficace à travers les principes BIM Lean résout la perte de valeur à la fois dans le milieu universitaire et l'industrie, la question de recherche de la proposition de thèse est : Comment le traitement de l'information peut-il être amélioré dans l'industrie de la construction afin de maximiser la valeur des actifs construits tout au long de leur cycle de vie ?

La méthodologie de cette recherche relève du design (DSR). Une approche par méthodes mixtes sera utilisée car elle permet une intégration de données "quantitatives et qualitatives" au sein d'une même enquête. Quatre étapes principales seront suivies:

- Une revue systématique de la littérature (SLR) sera adoptée pour identifier les facteurs par lesquels la perte de valeur est générée tout au long du cycle de vie des actifs.
- Par le biais d'enquêtes, d'entretiens et d'études de cas, les effets des facteurs découverts sur la génération de valeur seront analysés du point de vue du propriétaire de l'actif,
- Un artefact, une solution à un problème réel utilisant la théorie, sera développé.
- Le cadre de gestion du cycle de vie des biens construits allégé développé par BIM sera validé en tant que prototype dans des études de cas.

Les partenaires industriels jouant le rôle de propriétaires d'actifs sont la cible principale des cas d'utilisation dans cette recherche. Ce projet de recherche permettra le développement d'un artefact pour servir les professionnels de l'industrie de la construction, à la fois en termes de connaissances et de pratique, par le biais d'une enquête sur la perte de valeur existante basée sur le flux d'informations à travers le cycle de vie des actifs construits ; et par la suite permettre une gestion optimisée de l'information par l'application synergique de BIM et Lean visant à améliorer la génération de valeur.



# RÉALISATION DE PROJETS INTÉGRÉS DANS L'INDUSTRIE CANADIENNE

AHMAD ARAR

L'objectif de ce projet de recherche est de comprendre les tendances de la recherche concernant la réalisation de projets intégrée (IPD) entre 2017 et 2020 à travers une revue systématique de la littérature. Deux tendances ont été relevées à travers cette revue :

- Le nombre de projets de recherche concernant l'IPD ces quatre dernières années représente plus de 65% du nombre total de recherches publiées entre 2001 et 2016.
- Le nombre de pays participant aux recherches sur l'IPD à augmenté de 30% depuis 2016.

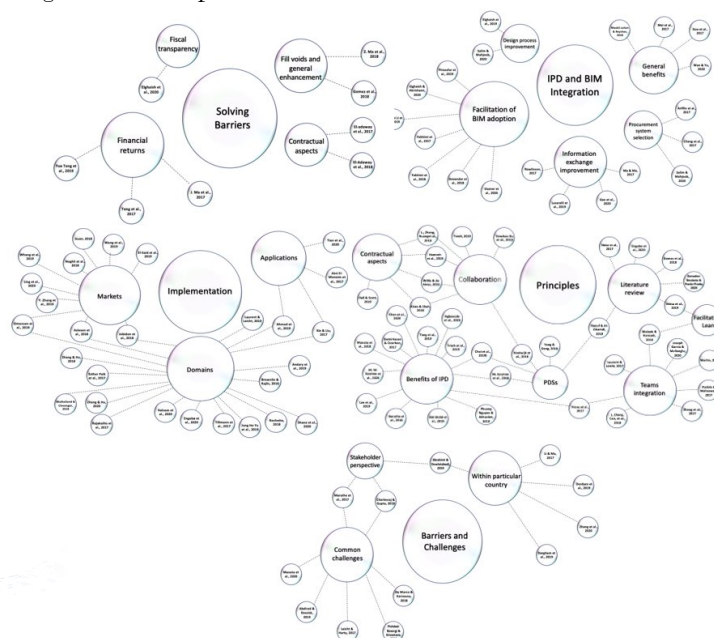


Comprendre les tendances de la recherche mondiale concernant la réalisation de projet intégrés permet d'avoir une vision globale du déploiement de cette approche. A partir des principaux sujets traités l'on peut aussi identifier les lacunes de la recherche. Ainsi, la majorité des recherches revues dans cette étude concernent 2 sujets :

- Les principes de la réalisation de projets intégrée (34 %)
- L'implémentation de la réalisation de projets intégrée ( 27%)

Les conclusions que nous pouvons tirer de cette revue systématique sont celles-ci :

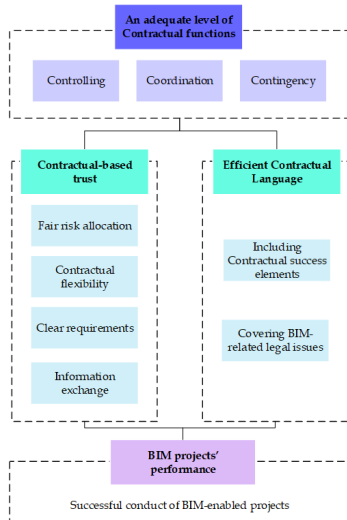
- Période de 2017 à 2020 représente une continuation de la tendance croissante de la recherche sur les IPD,
- Davantage de recherche locales et d'études sur les IPD sont nécessaires pour promouvoir son intégration sur les marchés de la construction,
- Il faut davantage d'études de cas pour tester l'efficacité de l'IPD dans la gestion de projets de plusieurs tailles,
- Il est encore possible d'optimiser la mise en œuvre de l'IPD. Il est nécessaire de réaliser des études qui plongent dans le processus et identifient les domaines à améliorer.



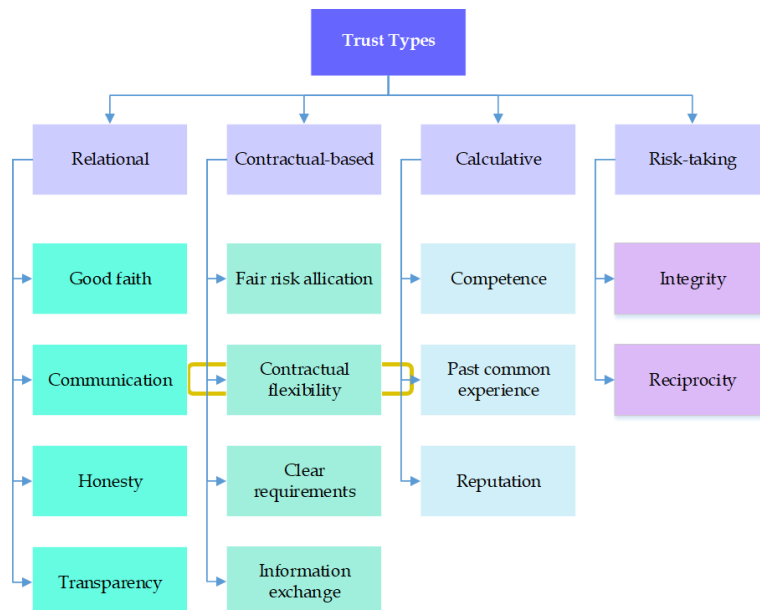
# L'IMPACT DU LANGAGE CONTRACTUEL ET DE LA CONFIANCE SUR LA RÉUSSITE DES PROJETS BIM

SARAH MAHBOD

Les objectifs de ce projet sont d'étudier les fonctions contractuelles, leur instanciation dans le langage contractuel BIM et leur impact potentiel due succès des projets BIM. Déterminer comment la confiance entre les parties prenantes d'un projet BIM peut être développée grâce aux fonctions contractuelles. Enfin, proposer un cadre qui considère la confiance entre les parties dans les projets BIM d'un point de vue contractuel pour améliorer les résultats de projet. Cette recherche à été citée aux CanBIM awards



Pour se faire, de nombreux professionnels ont été interrogés que ce soit sur les structures formelles (le contrat) ou sur les structures informelles (confiance). Les entrevues ont ensuite été encodées grâce au logiciel Nvivo. La première contribution de cette recherche est composée de graphiques analytiques permettant de faire ressortir les besoins de l'industrie. La seconde contribution est un cadre pour favoriser la confiance entre les parties prenantes qui pourraient être utilisé dans divers systèmes d'approvisionnement. Dans le cadre de ce projet il a été utilisé pour analyser les lacunes du CCDC et des annexes BIM.



# INVESTIGATION SUR LES BARRIÈRES ET DÉFIS À L'IMPLANTATION DES CDE DANS L'INDUSTRIE QUÉBÉCOISE DE LA CONSTRUCTION

MARGAUX SOYEZ

Les objectifs de ce projet étaient de proposer une définition commune aux environnements de données communs, identifier et comprendre les barrières pratiques aux CDE au Québec et identifier et comprendre les techniques et pratiques concernant les CDE au Québec. Pour atteindre ces objectifs, un sondage a été lancé notamment à travers le groupe BIM du Québec pour établir les définitions et fonctions du CDE.



## CDE = Flux (Processus) + Écosystème (Technologie)

Les différentes définitions ont été recoupées et ce qui en ressort majoritairement c'est que le CDE représente un flux de données supporté par un écosystème. La problématique qui est ressortie est que le CDE est actuellement implanté de façon séquentielle, l'environnement change à chaque étape de projet tandis que l'on essaie de se diriger vers la source d'informations centrale qui est en théorie faisable mais plus complexe à mettre en place en pratique.

L'on a pu faire ressortir différentes dimensions du CDE comme présentées dans le tableau ci-dessous. Plus de 200 fonctionnalités du CDE (citées dans au moins 3 références) ont été identifiées et regroupées selon des groupes (gestion de fichiers, collaboration et gestion de projet etc...) et des sous-groupes (métadonnées, droits d'accès etc...). L'objectif était de définir les aspects les plus importants du CDE pour établir qu'est ce qu'est un CDE et qu'est-ce qui ne l'est pas.

Dimension du CDE	Signification	Caractéristiques	Exemples
1D - CDE fermé	Interopérabilité entre différents outils au sein d'un même CDE	L'interopérabilité entre les différentes phases est limitée : difficile d'accéder à l'information d'une phase précédente car le flux de données est à sens unique	Utiliser le CDE BIM 360 avec des données venant des logiciels Navisworks et Revit
2D - CDE ouvert	Interopérabilité entre plusieurs CDE d'une même entreprise	Coopération à travers les phases mais au sein d'une même entreprise Echanger des données spécifiques, peu importe l'outil et par qui il est utilisé Retrouver des données dans n'importe quelle phase du projet, même si son origine vient d'une autre plateforme	Echanger des données de tpCDE à Oracle Aconex
3D - Ecosystème ouvert	Interopérabilité entre des plateformes collaboratives et des plateformes de jumeaux numériques (différentes entreprises)	CDE 1D et 2D : caractérisés par une interopérabilité au niveau du projet, CDE 3D : représente des piles de ces CDE qui sont reliées entre elles.	Livrer de l'information venant de EPLASS CDE à Bentley iTwin Services

---

## SONDAGE - COMMENT IMPLANTER UN CDE



Comme abordé précédemment, un sondage concernant les CDE a été diffusé à l'hiver 2021 dans le réseau du groupe de recherche et du GBQ. Celui-ci a permis d'interroger des professionnels dont l'expérience dans le domaine allait de moins d'un an à plus de trente ans. La majorité (39%) était des gestionnaires ou coordonnateurs BIM suivi des directeurs et gestionnaires (22%). Les 39% restants étaient des ingénieurs ou architectes (17%), des étudiants (11%), des gestionnaires et coordinateurs de projet (7%), des conseillers intégrateurs (2%) et enfin des directeurs BIM (2%).

La majorité des entreprises impliquées étaient des entreprises de génie (26%), d'architecture (17%) et des entrepreneurs généraux (17%). Concernant le secteur des entreprises participantes, 26% étaient dans le secteur institutionnel, 24 dans le commercial, 21% dans l'industriel. Le panel était donc assez représentatif de l'industrie même si le nombre de répondants reste assez faible (46). Plus de 40% des répondants avaient de l'expérience en BIM et donc parlaient en connaissance de cause.

L'une des premières questions a été de demander aux répondants comment ils communiquaient dans leurs projets. L'idée n'était pas de retenir la diversité des outils mais de montrer la présence de nombreuses plateformes et méthodes au sein d'un même projet. Pour les petites entreprises, le courriel (26,06%) et l'appel téléphonique (13,24%) restent les moyens d'échanges les plus courants. Pour les moyennes et les grandes entreprises, le courriel reste le moyen d'échange le plus courant (M:23,73%; G: 20%) suivi par les applications nuagiques spécialisées ( BIM 360dics, Trimble connect, etc.) (M:18,64%; G: 17,14%). Malgré la diversité des méthodes, 60% des répondants étaient satisfaits de leurs moyens de communication notamment parce que ce sont des outils connus. Cependant, ils ont souligné le nombre trop élevé de canaux de communication et la place trop importante des courriels. Ensuite, environ 70% des répondants étaient satisfaits avec leur gestion documentaire notamment à cause du confort d'utilisation. Cependant parmi les points soulevés par les répondants on trouve la difficulté à établir correctement les processus nécessaires à la gestion des documents, le manque d'uniformisation et la gestion non normée, la manque de contrôle des fichiers, l'information qui n'est pas toujours à jour, la lenteur et la mauvaise expérience utilisateur.

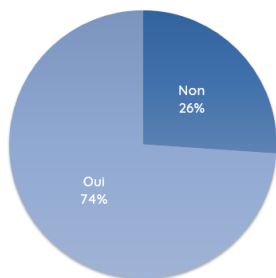
Une majorité des répondants (74%) avaient connaissance de la norme ISO 19650 sur l'accès à la donnée, mais on gagnerait à avoir une meilleure diffusion au niveau des gestionnaires et des professionnels. Au niveau de la connaissance concernant les CDE, on peut remarquer une distribution du niveau de connaissance entre "je n'ai jamais entendu parler de CDE" et "j'utilise le CDE régulièrement dans mes projets. Seulement 4% des répondants se sont déclarés comme experts.

Concernant le fait d'établir une source unique d'information, 60% des répondants ont établi que c'était possible à condition que le système soit adapté.

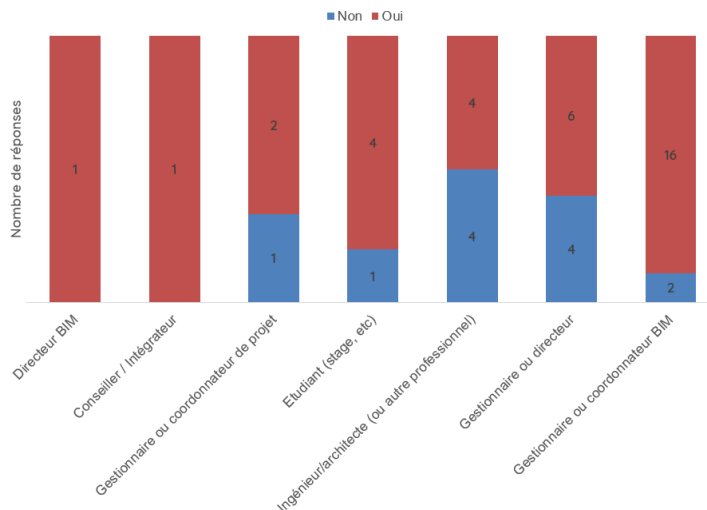
# SONDAGE - COMMENT IMPLANTER UN CDE



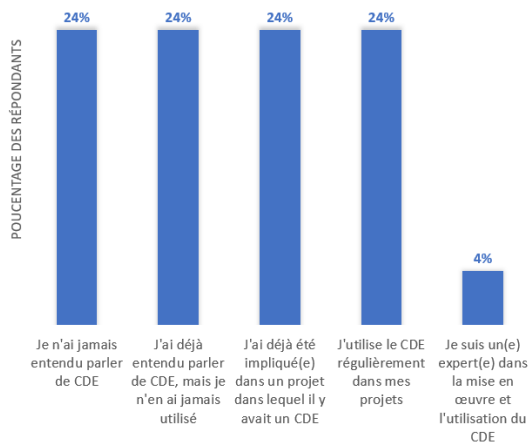
Avez-vous déjà entendu parler de la norme ISO 19650 ? (n=46) (% des répondants)



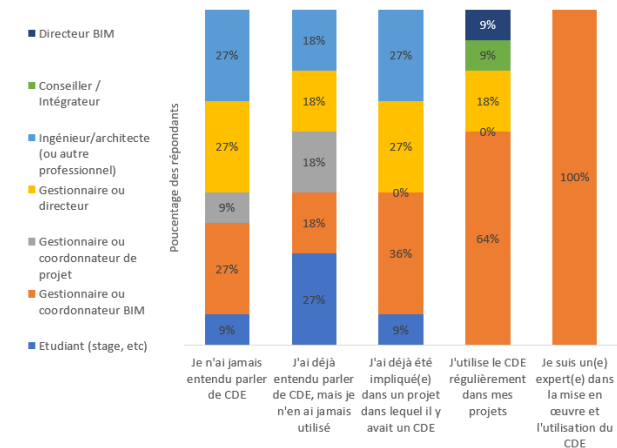
Connaissance de l'ISO 19650 selon la fonction ( n=46)



NIVEAU DE CONNAISSANCE DES CDE (N=46)



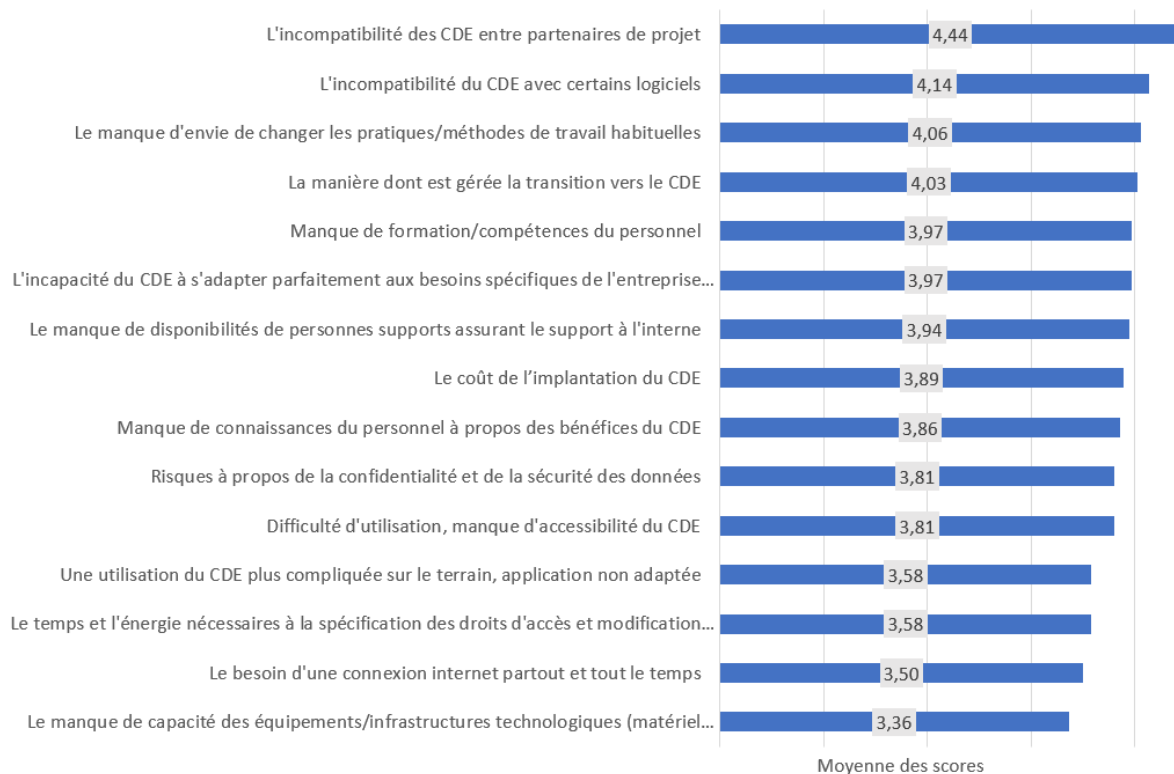
Répartition des rôles selon le niveau de connaissance CDE (n=46)



Concernant l'amélioration de la performance des projets, 86% des répondants ont affirmé voir de l'amélioration dans leurs projets ce qui donne foi à la proposition de valeur du CDE. Ensuite, 71% des répondants ont affirmé ne pas utiliser le même CDE dans tous leurs projets, il s'agit de réimplanter à chaque fois un nouveau système d'informations. Une majorité de répondants (39%) indiquent que le client devrait implanter le CDE tandis qu'en réalité, c'est l'entrepreneur général qui s'en occupe selon 30% des répondants.

Pour 95% des répondants, l'utilisation d'un CDE devrait être obligatoire pour les contrats publics.

## SONDAGE - COMMENT IMPLANTER UN CDE



Parmi les barrières à l'implémentation des CDE, on retrouve l'incompatibilité du CDE entre partenaires de projets en première place puis l'incompatibilité du CDE avec certains logiciels en seconde place. L'interopérabilité et la gestion du changement forment les plus grandes barrières et c'est ce qui va occuper les prochains projets de recherche.

En conclusion il est plus facile d'établir ce qui n'est pas un CDE plus que d'établir ce qu'est un CDE à cause d'un manque de point de référence central et à cause d'un manque de fonctionnalités indispensables. Ensuite, l'utilisation d'une fonctionnalité du CDE est différente de l'utilisation du CDE. Ainsi on voit l'utilisation de plusieurs CDE au sein d'un même projet et l'objectif principal est oublié. Enfin, le CDE parfait n'existe pas, plus le nombre de critères respectés sera élevé et plus l'on se rapproche du CDE parfait.



## VALORISATION DES DONNÉES CHEZ PROVENCHER\_ROY

PROVENCHER\_ROY

### SÉBASTIEN FRENETTE

Provencher\_Roy est un groupe d'architectes multidisciplinaires réunissant 400 employés travaillant dans tous champs d'activités allant de la santé au particulier en passant par l'éducation et l'infrastructure. Les bureaux sont situés à Montréal et à Ottawa. Provencher\_Roy s'illustre pour son avangardisme au niveau de l'innovation dans la construction mais aussi au niveau de la valorisation de la donnée.



### Projet de l'Hôpital Vaudreuil-Soulanges

Sur ce projet, le mandat de Provencher\_Roy était de réaliser le programme fonctionnel. Avec un budget estimé à 2 milliards, le projet prévoit une surface de 122 000 m<sup>2</sup> et 404 lits. Pour l'équipe il s'agissait de gérer plus de 6700 pièces, 70 000 occurrences d'équipements spécialisés du côté du donneur d'ouvrage et 100 000 équipements variés (tout équipement non médical). Plus de 200 personnes ont été impliquées dans le Projet.

Les équipes de Provencher\_Roy travaillent en BIM depuis 2008 et maîtrisent le volet 3D. Cependant pour ce projet l'objectif a été de connecter le volet 3D et le volet données, de faire travailler les équipes de modélisation et les équipes de programmation ensemble.

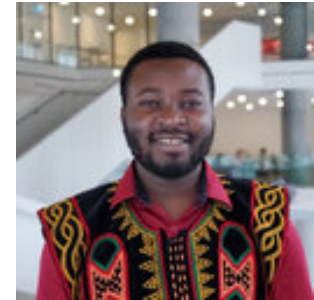
Pour valoriser la donnée, la première étape a été d'imprimer en grand (A0) la fiche technique pour faire des ateliers PCI et déterminer où se situaient les paramètres à valeur ajoutée dans le projet et pour structurer et harmoniser cette donnée. En sont ressortis 233 paramètres de pièces et 222 paramètres d'équipement. Dans l'outil utilisé on peut retenir deux grandes parties, premièrement les paramètres de la pièce avec le programme fonctionnel de la pièce en question, ses dimensions et particularités, que ce soit en architecture ou en ingénierie avec les systèmes par discipline. La seconde partie contenait tous les équipements qui composaient cette pièce, et les besoins associés en eau, énergie, ventilation. Ceci permettait de bien comprendre la pièce pour éviter les erreurs et omissions.

Une information structurée est une information exploitable. La base de données du programme fonctionnel a été utilisée par les professionnels, l'équipe clinique et l'équipe de gestion. Le client, le CISSMO, possédait une base de données de gestion des équipements spécialisés et les données ont pu être arrimées entre les deux. Une démarche d'harmonisation des deux bases de données a dû être menée afin de définir les noms des paramètres et équipements.

Beaucoup de bénéfices sont issus d'une donnée structurée :

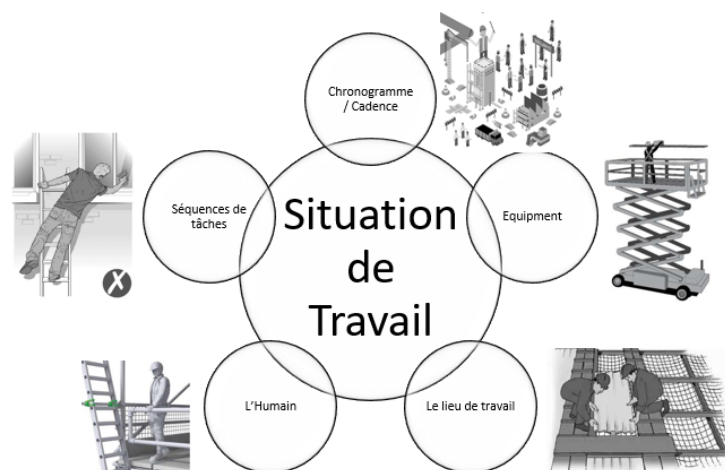
- Lier les données avec les modèles paramétriques et réduire le nombre d'erreurs et d'omissions
- Aider à la disposition des équipements
- Fournir aux équipes de modélisation une donnée structurée et harmonisée
- Permettre d'extraire les quantités
- Faciliter une meilleure accessibilité des données
- Extraire les données structurées au format Excel ou PDF

## LA GESTION DES RISQUES DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ DU TRAVAIL À L'AIDE DES MAQUETTES BIM ET PLM : REVUE COMPARATIVE DE LITTÉRATURE



CHRISTIAN TIAYA, PROF. SYLVIE NADEAU, PROF.  
CONRAD BOTON, PROF. LOUIS RIVEST

L'objectif général de notre étude est de proposer une approche de prévention par la conception, des risques de SST (Santé et Sécurité du Travail) des travaux d'exploitation et de maintenance des ouvrages industriels. Dans cette première phase de l'étude, notre objectif spécifique est d'identifier les analogies et les différences entre les approches de gestion des risques de SST dans les univers BIM et PLM. A cet effet, nous faisons une revue des articles publiés entre 2010 et 2020, dans les bases de données Engineering Village, Scopus et ScienceDirect, et qui portent sur l'usage de l'un de ces deux types de maquettes numériques pour la prévention des risques de SST. Pour chaque approche de gestion des risques, nous identifions le type d'informations intégrées dans les analyses de risques et le type de risques que l'approche permet de prévenir. Les types d'informations intégrées dans les analyses de risques sont identifiées aux cinq éléments clés qui caractérisent une situation de travail. Ces derniers sont définis par la division de la santé et sécurité du travail du Québec comme : le chronogramme d'exécution des tâches, les équipements, le lieu de travail, les séquences d'exécution et les caractéristiques des humains qui effectuent les tâches.



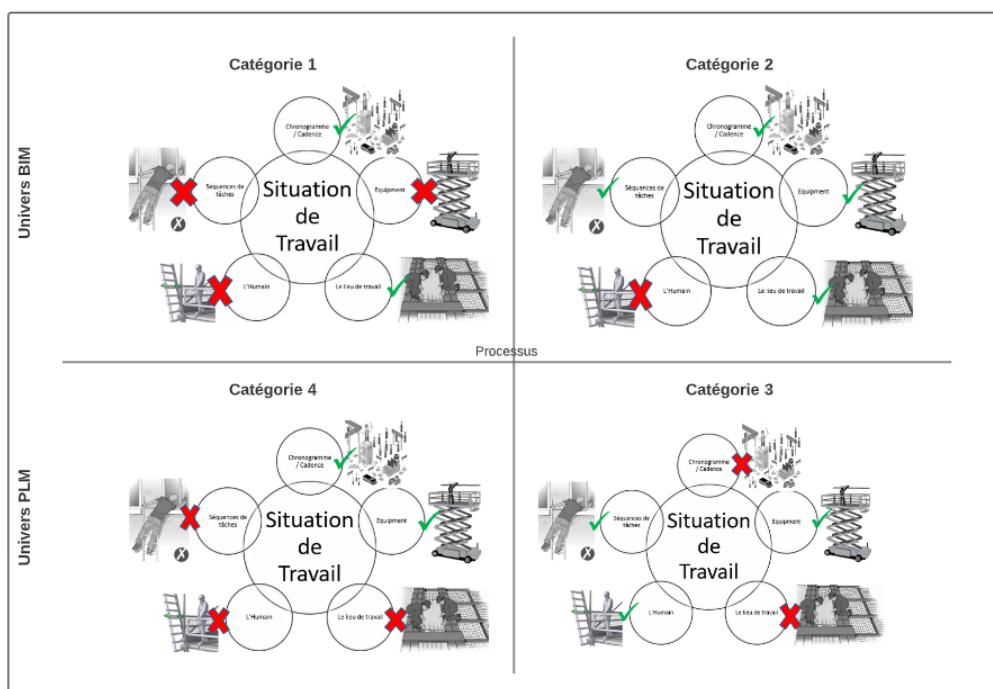
Éléments clés qui caractérisent une situation de travail (adapté de Division Santé et sécurité  
au travail au Québec, 2010 et OIT, 2017)

Nous avons ainsi pu regrouper les approches identifiées en quatre principales catégories : 1) les approches qui utilisent, dans les analyses de risques, uniquement les informations fournies par les maquettes 3D et 4D BIM ; 2) les approches qui couplent les maquettes BIM à d'autres technologies (e.g. les technologies de gestion des connaissances) pour intégrer d'autres informations aux analyses de risques ; 3) les approches qui utilisent les maquettes PLM pour simuler les tâches (à l'aide de mannequins virtuels ou en mettant la maquette en interaction avec un humain réel) et 4) les approches qui couplent les maquettes PLM à d'autres technologies de collecte et de gestion des informations sur la sûreté de fonctionnement des équipements.

Les approches de la catégorie 1 intègrent aux analyses de risques les informations sur les lieux de travail et les chronogrammes d'activités. Elles permettent d'identifier et prévenir les risques de sécurité du travail. Ces risques sont, dans ce cas, des risques aigus d'accidents tels que les risques de chutes, les risques de collision entre les équipements et les humains, etc. Les approches de la catégorie 2 permettent d'intégrer aux analyses de risques les informations sur les lieux de travail, les chronogrammes d'activités, les équipements utilisés et les séquences de tâches. Elles permettent d'identifier et de prévenir les risques de sécurité du travail et des risques d'hygiène industrielle. Ces derniers sont des risques chroniques qui naissent du fait de l'exposition des travailleurs à des matières dangereuses et susceptibles de causer des maladies sur le long terme. Les approches de la catégorie 3 intègrent aux analyses de risques les informations sur les séquences de tâches, les équipements, les caractéristiques des humains qui effectuent les tâches. Ces approches permettent de prévenir des risques ergonomiques. Ces derniers sont des risques qui naissent du fait des efforts excessifs ou de mauvaises postures de travail imposés aux travailleurs. Les approches de la catégorie 4 intègrent dans les analyses de risques les informations sur les chronogrammes des activités et les équipements. Ces approches permettent de prévenir des risques de sécurité du travail et plus précisément des risques liés à la sûreté de fonctionnement des machines (e.g. les risques de happement ou d'handicap du fait du dysfonctionnement d'une pièce tranchante d'une machine).

Il ressortait ainsi de l'étude que les approches de gestion des risques de SST à l'aide des maquettes BIM intègrent aux analyses de risques les informations sur la configuration du milieu de travail et les chronogrammes des activités pour prévenir les risques de sécurité du travail. Les approches de gestion des risques de SST à l'aide des maquettes PLM quant à elles, intègrent aux analyses de risques les informations sur les interactions entre l'humain, le produit et les processus pour prévenir les risques ergonomiques. Par ailleurs, les études qui couplent les maquettes numériques aux technologies de gestion des connaissances relèvent la possibilité d'étendre les types de risques que l'on peut identifier par chacune de ces approches.

Dès lors, dans la suite de notre étude, nous entendons explorer le potentiel d'utiliser les maquettes numériques couplées à des technologies de gestion des connaissances, de manière à fournir une approche de prévention à la source des risques de SST des travaux d'exploitation et de maintenance des ouvrages industriels.



## RÉFÉRENCES

- Division Santé et sécurité au travail, 2010. Identification des dangers et analyse de risques : Guide de référence.  
[http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/intra\\_fr/media/documents/guide\\_analyse\\_risques\\_15-11-10.pdf](http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/intra_fr/media/documents/guide_analyse_risques_15-11-10.pdf)
- OIT. (2017, 21 novembre). Le contrôle des chantiers de construction par l'inspection du travail – Guide à l'intention des inspecteurs du travail. [Rapport]. Repéré à [http://www.ilo.org/global/topics/labour-administration-inspection/resources-library/publications/WCMS\\_600491/lang--fr/index.htm](http://www.ilo.org/global/topics/labour-administration-inspection/resources-library/publications/WCMS_600491/lang--fr/index.htm)

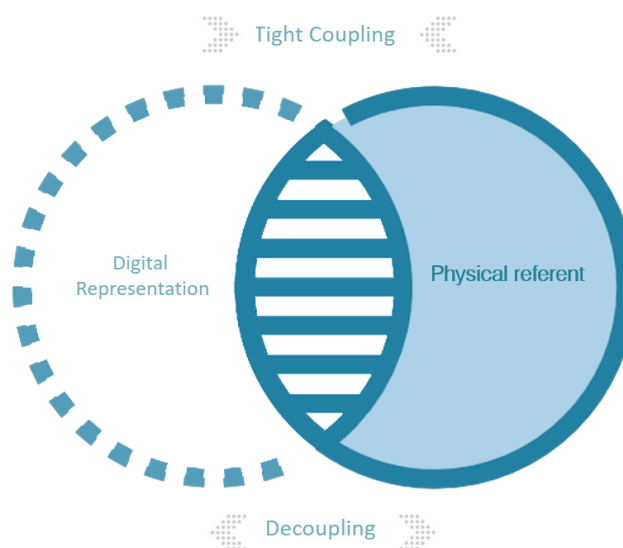
## COUPLAGE PHYSICO-NUMÉRIQUE DES ACTIFS BÂTIS

SAMAN DAVARI



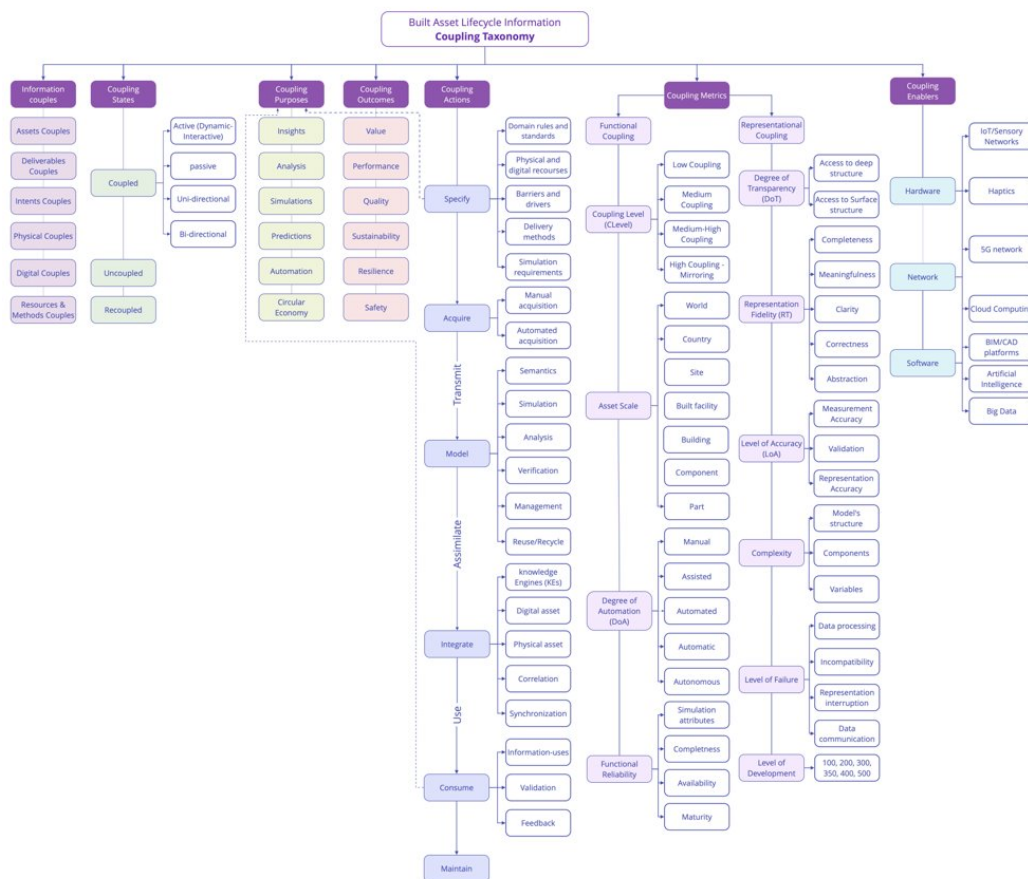
Le rythme accéléré de la numérisation de l'environnement bâti pousse à une gestion plus durable de l'information sur le cycle de vie des actifs et des ressources dans le concept de couplage des actifs. Pour tirer pleinement parti des outils d'information numériques dans l'industrie des actifs bâtis, il faut de nouvelles constructions - taxonomies, modèles et cadres - pour définir et mettre en relation les nombreux composants qui facilitent le flux et l'échange d'informations entre de multiples secteurs au cours des phases du cycle de vie des actifs physiques et numériques. En outre, de nombreux universitaires et praticiens, issus de divers domaines de connaissance et d'industrie, ont affirmé que des mécanismes efficaces sont encore nécessaires pour améliorer l'échange d'informations entre les différentes parties prenantes telles que les entrepreneurs, les fabricants, les constructeurs, etc.

Dans ce but, cette recherche propose le concept de couplage d'actifs et d'informations en tant que catalyseur potentiel d'une meilleure transformation et d'un meilleur échange d'informations en fournissant une aide à la décision améliorée et un aperçu du cycle de vie des actifs physiques et numériques construits. Un tel couplage est prometteur car il permet aux parties prenantes de l'industrie de libérer la valeur générée par les outils d'information numériques dans l'environnement bâti. Le travail présenté dans cette recherche s'appuie sur le cadre Lifecycle Information Transformation and Exchange (LITE), "un squelette conceptuel extensible pour la définition, la gestion et l'intégration des informations sur les projets et les actifs tout au long de leur cycle de vie [qui] fournit la base d'un nouveau paradigme de gestion de l'information, qui soutient les technologies et les pratiques émergentes visant à l'intégration et à l'automatisation.



Coupling level of physical and digital assets

Dans le contexte de cette recherche, les six couples de jalons d'information sont intéressants, chaque couple étant lié à un aspect spécifique du cycle de vie de l'information et servant à combler deux fossés spécifiques : entre les mondes physique et numérique ou entre les états ciblés (irréels) et réels (effectifs). Les états d'information ciblés et réels sont liés par quatre couples verticaux : le couple de buts, le couple physique, le couple numérique et le couple de ressources et de méthodes. Pour assurer une synchronisation constante entre les livrables ciblés et réels, deux couples horizontaux : Couple de livrables et Couple d'actifs sont projetés respectivement. Tous ces couples positionnés peuvent ouvrir de nouvelles voies pour faciliter le couplage des informations à différentes étapes du cycle de vie des actifs. Sur la base des couples identifiés dans le cadre du LITE, la recherche a d'abord proposé une taxonomie pour initier la structuration du domaine de connaissances. Une taxonomie du couplage des informations du cycle de vie des actifs bâtis a été proposée pour identifier les différentes caractéristiques guidant cette tendance vers le couplage des actifs et des ressources physiques et numériques. Cette approche peut servir à réduire la complexité de ce domaine de recherche en pleine évolution. La principale contribution de cette proposition de taxonomie est d'améliorer la compréhension du couplage des informations dans l'environnement bâti. D'autres recherches sont nécessaires pour développer et conceptualiser d'autres aspects clés du couplage des informations au cours du cycle de vie en étendant et en affinant cette taxonomie. Ainsi, les prochaines étapes consistent à poursuivre le développement de la taxonomie du couplage des informations du cycle de vie des actifs bâtis et à générer des principes, des mécanismes et des utilisations d'informations plus détaillés pour traiter les problèmes de couplage existants dans la gestion des informations du cycle de vie de l'environnement bâti.





## PROJET DOW

DANIEL FORGUES ET JOSÉE ÉTHIER

Dans le cadre de l'intégration de l'îlot Dow aux pavillons de l'ETS, le groupe de recherche s'est vu offrir l'opportunité exceptionnelle d'en faire un laboratoire d'innovation numérique. L'ETS fait partie des organisations pionnières par rapport à l'intégration du numérique dans l'industrie. L'idée est de faire du projet un "Living Lab". Une série d'innovations ont donc été proposées en accord avec les objectifs principaux du projet :

- Une communauté durable exemplaire,
- Créer une vitrine d'innovation,
- Créer un modèle d'engagement des futurs occupants dans la définition de leur milieu de recherche, d'apprentissage et de partage des connaissances.



Le projet Dow est réalisé avec la SQI, il en est à la phase du dossier d'opportunité pour la première phase, il s'agit d'un projet qui comprendra au moins trois phases. La phase 1 prévoit :

- 9000 m<sup>2</sup> pour les besoins académiques et recherche,
- 6850m<sup>2</sup> commerciaux, stationnements et laboratoires locatifs
- un réaménagement de 5000m<sup>2</sup> dans le pavillon A

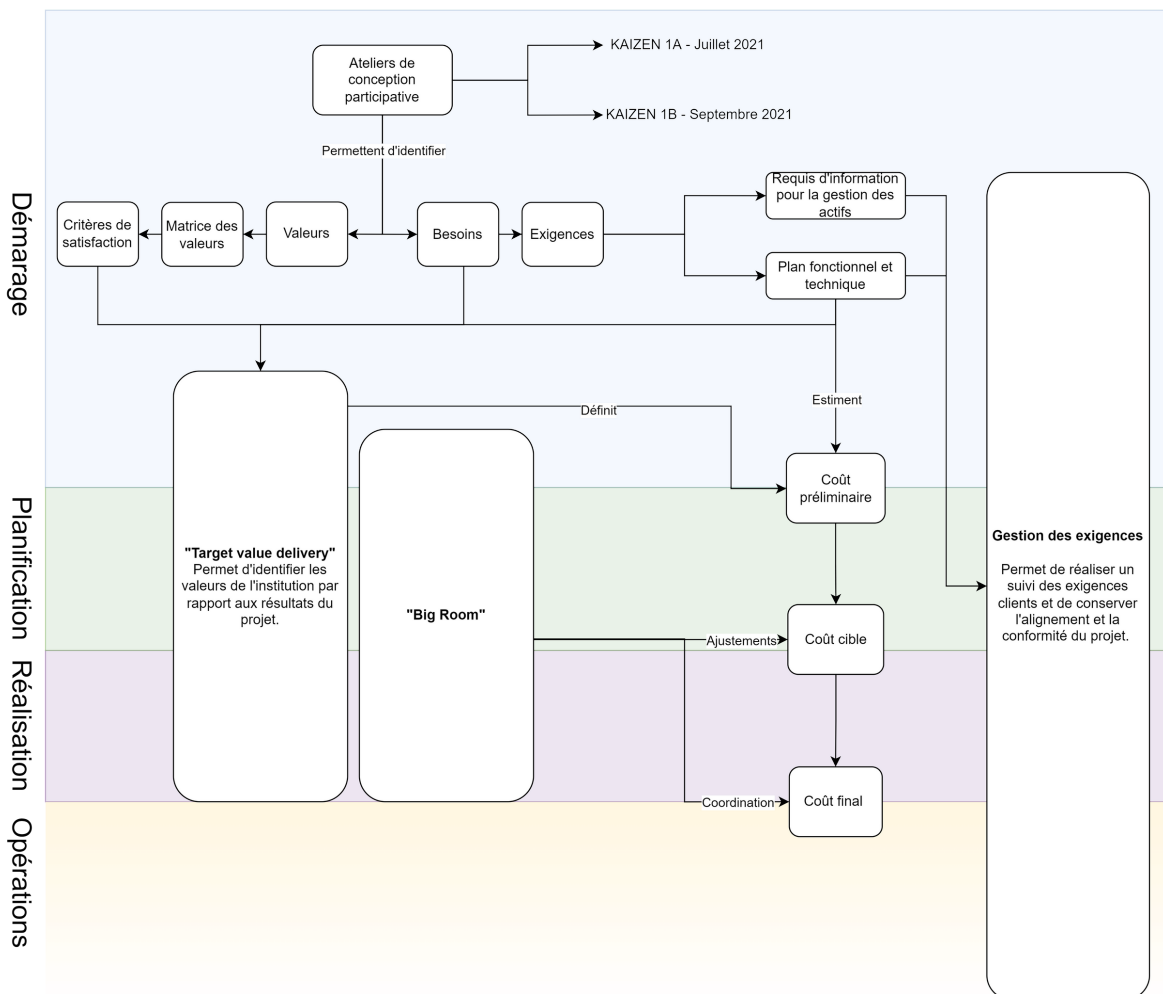
Deux autres phases sont prévues pour l'ajout d'espaces de recherche.

Le programme a été accepté par le comité directeur, le projet en est à la planification notamment avec des ateliers de conception participative Kaizen, la définition des intrants pour l'analyse immobilière, les études et le dossier d'affaires innovation. La réalisation du projet est prévue pour 2024 à 2027.

La proposition d'innovations se concentre sur des innovations qui ont fait leur preuve et dont on connaît la valeur ajoutée. Quatre innovations racines ont été identifiées, elles constituent l'échine de l'intervention qui va être menée, à celles-ci viennent s'accrocher d'autres innovations en fonction du succès rencontré avec les innovations racines. Il s'agira de savoir aussi à quel point chaque innovation a de l'impact pour le projet.

Deux innovations racines concernent plus le côté client et deux autres plus le côté projet. Tout d'abord le Big Room offre un espace de travail avec des outils servant à faciliter la collaboration, et la conception participative, qui a été utilisée pour des projets en santé mais qui constitue une première pour un projet universitaire. Les deux innovations "Projet" sont la gestion des exigences, qu'on souhaite approfondir dans le cadre de ce projet, et le Target Value Delivery (TVD), qui permet d'identifier les attentes de toutes les parties prenantes face au projet.

Ces quatre innovations sont liées puisque la conception participative permet de définir ce qu'on entend comme valeur ajoutée au niveau du projet, non seulement au niveau des coûts mais aussi par rapport aux attentes de la communauté de l'ETS et soutient donc le TVD. Toute la gestion des exigences donne la possibilité de garder la pérennité des intentions premières.



---

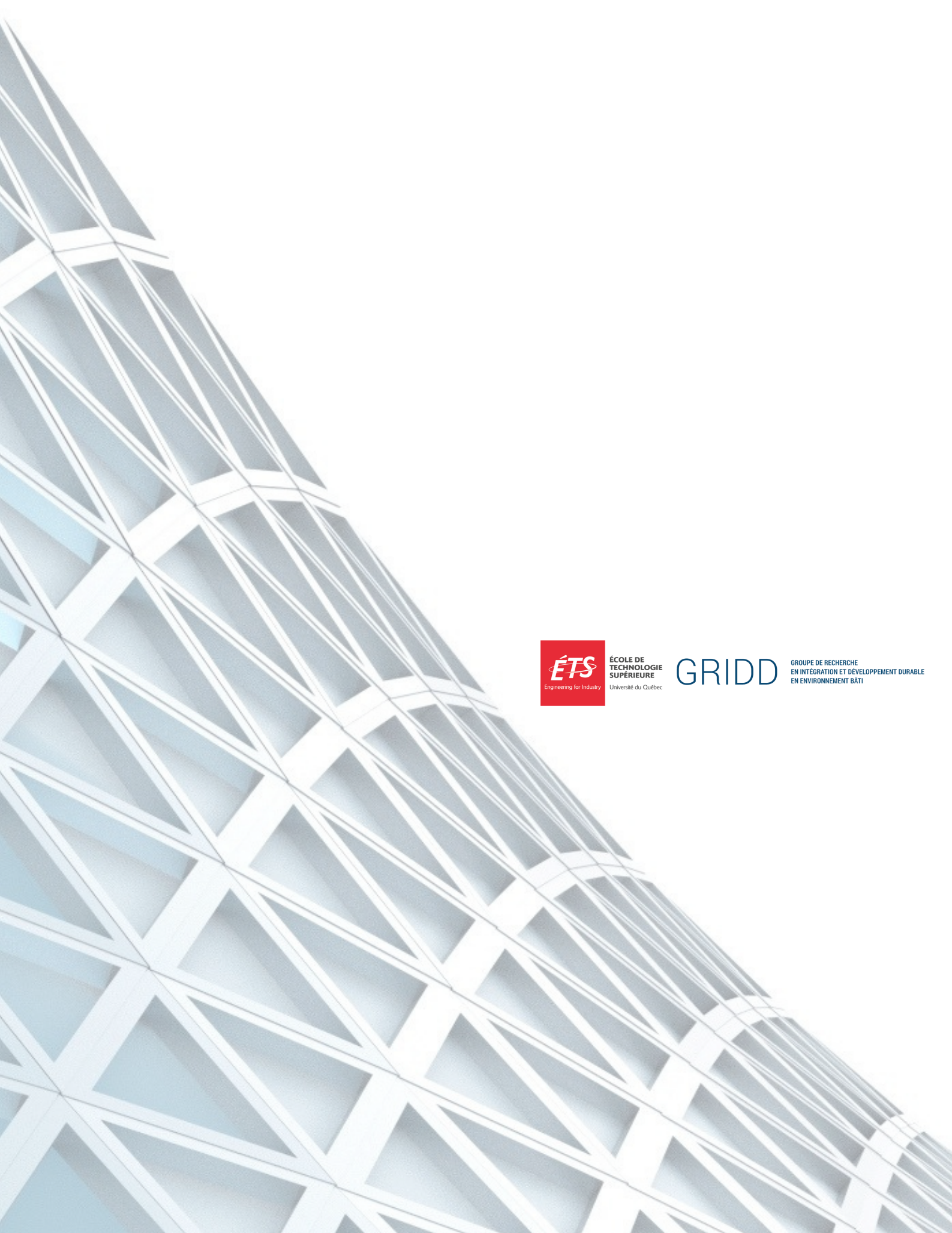
## CONCLUSION

La seconde édition de l'atelier Innover ensemble était aussi la première édition réalisée en co-modal, à la fois dans les locaux du GRIDD et en ligne. Il s'agissait d'une occasion de se réunir et de présenter nos avancements individuels et communs.

Depuis la dernière édition, l'industrie a dû faire face à de nombreux défis et s'adapter à de profonds changements. La publication de la feuille de route gouvernementale pour la modélisation des données du bâtiment représente une avancée majeure vers la démocratisation des processus et technologies BIM comme des nouvelles technologies de l'information dans l'industrie de la construction. La recherche, qu'elle soit menée au niveau académique, au sein d'entreprises et d'organisations pionnières représente un moteur pour le développement et l'intégration de nouvelles pratiques. Cependant, c'est le partage et la diffusion de nos accomplissements qui crée un climat d'émulation et d'innovation au sein de l'industrie et nous permet d'aller de l'avant.

Nous souhaitons faire du Symposium Innover ensemble un rendez-vous annuel autour de l'innovation, nous avons hâte de vous retrouver pour la troisième édition en novembre 2022.

L'équipe du GRIDD



ÉCOLE DE  
TECHNOLOGIE  
SUPÉRIEURE  
Université du Québec

GRIDD

GROUPE DE RECHERCHE  
EN INTÉGRATION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE  
EN ENVIRONNEMENT BÂTI