

CRIB

Centre de recherche sur les
infrastructures en béton

SYNTHÈSE DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

EN QUELQUES MOTS

Le Centre de recherche sur les infrastructures en béton (CRIB) travaille au développement, à la diffusion et au transfert des connaissances pour la construction et la réparation des infrastructures en béton.

Depuis sa création en 1982, le Centre de recherche sur les infrastructures en béton ne cesse d'évoluer d'année en année afin de bien répondre aux besoins de la société québécoise. Regroupant d'abord quelques chercheurs de deux universités, le Centre a, au fil des années, ajouté des disciplines de recherche ainsi qu'une multitude de membres. Ses expertises se situent tant au niveau de l'ingénierie, que de l'architecture, les finances, que la géologie. D'abord créé par l'union de deux universités, le CRIB compte aujourd'hui huit universités membres au Québec et tisse des liens avec des experts à l'international.

Notre regroupement stratégique vise à développer les technologies pour améliorer la durée de vie des infrastructures ainsi qu'à déterminer les coûts financiers, sociaux et environnementaux reliés à la construction ou à l'entretien des infrastructures en béton.

Chaque année, plus de 60 entreprises et organismes publics bénéficient de nos recherches par des contrats ou par l'entremise de leur implication dans les projets de recherche du CRIB.

LES 3 AXES DE RECHERCHE DU CRIB

AXE 1

MATÉRIAUX INNOVANTS POUR LA CONCEPTION DE BÉTONS PERFORMANTS, ÉCORESPONSABLES ET DURABLES

1.1 Nouveaux liants et ajouts cimentaires

Ce thème vise à développer des approches/méthodologies de valorisation de matières industrielles résiduelles pour la fabrication de liants cimentaires alternatifs à faible empreinte de carbone (E3). On s'intéressera notamment aux processus de géopolymérisation, de retraitement chimique ou thermique pour développer de nouveaux liants à partir de résidus silico-(calcio)-alumineux issus de procédés industriels ou de résidus miniers québécois (E6), de même qu'à la caractérisation des propriétés fondamentales de ces liants (hydratation/pouzzolanité, équilibres chimiques, interactions avec les adjuvants, rhéologie, résistance, microstructure, lixiviation, stabilité volumique, etc.). Le développement de ces filières de valorisation revêt un grand intérêt des points de vue économique, environnemental et sociétal. Les applications visées pour les bétons ou composites cimentaires fabriqués à partir de tels liants sont les ouvrages urbains, routiers et ceux reliés aux opérations minières (E1).

1.2 Utilisation optimale des ressources granulaires pour béton

Pour assurer l'utilisation optimale et la pérennité des ressources granulaires face à la demande globale prévue de 51.7 milliards de tonnes en 2019, ce thème vise à mieux comprendre les interactions entre les particules granulaires (différentes compositions, origines, tailles et formes), afin d'en modéliser l'impact sur la compacité du squelette granulaire, la rhéologie et les propriétés mécaniques des bétons. Il vise aussi à comprendre l'influence des caractéristiques de composition et physico-mécaniques des granulats marginaux ou issus des débris de démolition (teneur en mortier résiduel et en particules fines, absorption; résistance au gel, à la fragmentation et à l'abrasion, pathologies des granulats recyclés) sur les propriétés du béton frais et durci (E3). Ces recherches visent à valoriser les matériaux recyclés ou sous-utilisés (marginaux) en modulant les exigences de qualité selon les applications tout en assurant une performance adéquate selon la sévérité des sollicitations.

1.3 Nouveaux bétons et autres composites cimentaires innovants

Des bétons innovants seront développés pour construire ou réparer des ouvrages essentiels au développement urbain et industriel du Québec (E1, E2, E3). Les recherches visent à atteindre des évolutions marquées des bétons actuellement disponibles en termes de contrôle des déformations et de la fissuration, de durabilité et de minimisation des impacts environnementaux. Elles visent aussi à poursuivre le développement de matériaux et de nouvelles technologies fortement innovantes comme les bétons autocicatrisants, les bétons fibrés à hautes et ultra-hautes performances (BRF et BFUP) (E2) et la bioréparation des fissures; les bétons pour le captage du CO₂ (E4, E5), les bétons pour l'impression 3D, les bétons à changement de phase, isolants ou à haute absorption acoustique pour les bâtiments (E1). L'innovation vise une empreinte carbone réduite, la rapidité de mise en œuvre, la valorisation des ajouts cimentaires locaux (e.g. thème 1.1) et des granulats recyclés/marginaux (thème 1.2).

AXE 1 - SUITE

1.4 Ingénierie des ouvrages innovants dans le secteur minier

Ce thème porte sur la conception et la mise en œuvre d'ouvrages dans le secteur minier incorporant du ciment, composites cimentaires ou liants alternatifs (thème 1.1) leur conférant des propriétés améliorées. Les objectifs visés sont l'optimisation de la formulation, le raffinement des caractérisations physico-chimique, rhéologique, mécanique, ainsi que l'amélioration de la performance à court et à long terme des ouvrages à base de ciments et de leurs dérivés (E3, E6). Les activités de recherche porteront sur la réutilisation des résidus miniers grossiers et fins, de ciments et dérivés (à base de stériles miniers non réactifs, granulats légers ou recyclés, mortiers, etc.) dans la fabrication de bétons structuraux, de bétons projetés pour le soutènement minier, et de remblais miniers cimentés (E3). Les aspects tels que la géopolymérisation et l'utilisation d'amendements cimentaires pour le contrôle du drainage minier acide seront aussi traités (E6).

1.5 Durabilité et allongement de la durée de vie

Ce thème a pour objectif de mieux comprendre les processus de détérioration chimique, physique et mécanique des bétons (corrosion de l'acier d'armature, réactions sulfatiques internes, réaction alcalis-silice, granulats riches en sulfures de fer ou gélifs) afin d'en modéliser les comportements physico-chimico-mécanique et de développer des critères de performance adaptés à la conception d'ouvrages basée sur des exigences de durée de vie utile (devis de performance). Les travaux viseront à développer des protocoles d'essais reproduisant mieux en laboratoire les conditions sévères d'exposition auxquelles les structures sont exposées pour générer des données temporelles fiables nécessaires à une évaluation quantitative de la durée de vie. Les résultats permettront ainsi d'optimiser les paramètres de conception (matériau-structure) (E4) et adapter les stratégies d'entretien (E5), pour maximiser le cycle de vie des infrastructures (100 ans) et pour minimiser les coûts socio-économiques.

AXE 2

CONCEPTION HYBRIDE ET MULTI-ÉCHELLES DES OUVRAGES

2.1 Conception écoresponsable

Ce thème est intégré dans chacune des activités de l'Axe 2. Il intervient à toutes les étapes de la vie des ouvrages: choix des bétons, concepts structuraux, intégration des méthodes de construction, sélection des matériaux de réparation, prévision des méthodes de déconstruction et réutilisation ou recyclage des matériaux (E3 et E4). Le confinement du béton détérioré et réactif de structures existantes par des gainages en bétons renforcés de fibres (BRF, BFUP) ou polymères renforcés (PRF) permettra une meilleure utilisation des ressources naturelles et contribuera au recyclage d'ouvrages démolis sans affecter la qualité et la sécurité de certains ouvrages. L'utilisation d'éléments préfabriqués légers pour la construction accélérée des ponts et bâtiments, particulièrement en milieux urbains, nécessite des changements dans les normes et pratiques qui requièrent souvent l'utilisation de matériaux plus performants, ce qui à terme conduit à une réduction de l'impact environnemental (E5).

2.2 Conception multi-échelles des matériaux par optimisation de leurs propriétés micromécaniques

Ce thème est à la frontière des Axes 1 et 2. L'optimisation des propriétés macroscopiques structurales et de la durabilité des nouveaux composites cimentaires est accomplie à l'aide d'une approche multi-échelles qui établit un lien fonctionnel entre des paramètres de leur microstructure et les performances macroscopiques (résistance à la compression et à la traction, module élastique, fluage). La décodification de la microstructure des composites cimentaires est la clé pour bâtir une approche d'optimisation. Les nouvelles techniques développées couplent la nanomécanique et la spectroscopie et permettent la détection des phases microstructurales et le couplage des propriétés micromécaniques. Ces techniques à l'échelle micrométrique permettent de caractériser le fluage propre et les propriétés élastiques des bétons. Cette approche de conception permettra l'optimisation des caractéristiques micromécaniques en fonction des performances macroscopiques attendues des éléments en béton (E4).

2.3 Développement d'outils de conception

La pénétration d'agents nuisibles dans le béton, l'initiation et l'ouverture des fissures et l'interaction entre les matériaux de réparation et les matériaux d'origine ne sont quelques exemples de données essentielles requises dans un contexte de conception écoresponsable (E1, E3, E4). Des outils numériques sont développés et validés expérimentalement pour en permettre la prédiction dans l'exercice complexe d'évaluation de la durée de vie des bétons, sur la base de leur composition chimique et des conditions d'utilisation anticipées, afin de faire les choix quant aux caractéristiques de durabilité nécessaires. D'autres outils permettent de prédire le comportement mécanique et structural des ouvrages en service et à l'ultime, en intégrant les interactions entre les différents matériaux et composantes à différentes échelles structurales. Pour en assurer la fiabilité, on doit considérer les comportements mécaniques et thermiques non linéaires des diverses composantes.

AXE 2 - SUITE

2.4 Développement d'éléments structuraux innovants

La construction et la réparation des ouvrages en béton utilisent de plus en plus d'éléments structuraux dont les caractéristiques géométriques, mécaniques, esthétiques et de durabilité doivent satisfaire des objectifs de performances très spécifiques. Les éléments structuraux en BRF & en BFUP offrent des solutions innovantes pour mieux répondre à des contraintes de poids, de géométries complexes, d'assemblage sur site et architecturales (E4). Les recherches visent à exploiter des BRF & BFUP optimisés (ouvrabilité, ductilité, stabilité volumique, coût abordable) pour produire des éléments structuraux innovants. Un système hybride actuellement à l'étude consiste en du béton armé mis en place dans des tubes en PRF servant de moules permanents et dont l'action de confinement permet de d'anticiper une capacité structurale et une ductilité trois fois supérieures à celles d'éléments en béton armé (E5). Des systèmes de planchers hybrides béton-bois légers et ductiles sont également à l'étude.

2.5 Construction préfabriquée et modulaire

Ce thème porte sur le développement de structures préfabriquées modulaires visant à minimiser l'impact des travaux sur les usagers et les résidents, assurer une qualité de fabrication supérieure et réduire la consommation de matériaux (E1). Les travaux visent en amont à améliorer notre compréhension des mécanismes de rupture propres aux structures préfabriquées et modulaires, où les connexions sont très sollicitées (concentration d'efforts nécessitant une grande réserve de ductilité). L'un des objectifs de fond est l'usage croissant d'éléments structuraux innovants décrits au Thème 2.4. Les travaux incluent la caractérisation expérimentale d'éléments structuraux variés de taille réelle pour l'érection de bâtiments, ouvrages d'art et autres constructions d'avant-garde, en y intégrant des caractéristiques très avancées (ex.: services électro-mécaniques) requérant un exercice de conception résolument multidisciplinaire (architecture, ingénierie civil, mécanique, électrique, BIM) (E1, E4).

AXE 3

GESTION DURABLE DU PATRIMOINE BÂTI ET DES VILLES INTELLIGENTES

3.1 **Caractérisation, monitoring et analyse intégrées de la condition actuelle et future des ouvrages en béton**

Ce thème vise le développement de techniques pour les diagnostics et pronostics fiables de la condition des ouvrages (E1, E2). Le CRIB a grandement contribué au développement de méthodes de contrôle non destructif et à leur exploitation. Les travaux en cours visent à intégrer ces techniques et à gérer efficacement le volume considérable d'informations généré. L'utilisation combinée de méthodes reposant sur différents principes physiques permettra par recoupement d'améliorer la précision et la justesse du diagnostic. Les approches reposant sur les concepts de gestion des connaissances seront exploitées. L'intelligence artificielle sera utilisée pour classifier et traiter les données, ainsi que pour analyser l'évolution des informations. Des capteurs intelligents sans fil de grande autonomie de type IoT (internet of things) seront étudiés pour le suivi en continu de l'état des matériaux cimentaires. Des travaux seront voués à l'inspection semi-automatisée des ouvrages au moyen de drones.

3.2 **Technologies avant-gardistes pour la préservation, la restauration et la mise à niveau des ouvrages en béton**

Ce thème porte sur les outils de conception, les matériaux et les techniques pour la préservation du patrimoine bâti. Il vise le développement d'outils numériques d'aide à la conception pour prédire le comportement de l'ouvrage réparé dans son environnement (E4, E5). Une variété de matériaux novateurs fait l'objet de travaux expérimentaux et d'études sur modèles, notamment les BFUP pour exploiter leurs propriétés mécaniques et leur durabilité exceptionnelles, les agents expansifs, de cure interne et de cicatrisation pour éliminer la fissuration, les systèmes de protection cathodique pour prévenir ou neutraliser la corrosion et les systèmes d'imperméabilisation destinés prévenir l'infiltration d'eau et de contaminants. Des techniques de réparation accélérée (ex.: bétons à prise ultra-rapide, installation modulaire, éléments hybrides) sont à l'étude en vue de minimiser la durée des interruptions de service, tout en assurant l'atteinte de la durée de vie exigée des interventions.

3.3 **Outils d'aide à la décision avancés pour optimiser la performance des ouvrages en service**

Ce thème réunit des chercheurs en ingénierie, en finance et en sciences économiques pour développer des méthodes et outils d'analyse adaptés à la gestion des infrastructures (E1 et E5). De par leur importance sociale et économique, le développement de ces outils d'aide à la décision de pointe aidera le gestionnaire d'ouvrage à faire des choix avisés face à ces investissements récurrents. Les simulations et données générées appuieront les analyses suivantes: Modalités optimales d'investissement pour l'érection d'une nouvelle infrastructure - Stratégies d'entretien préventif/régulier vs réfections majeures - Extension de la durée de vie d'un ouvrage et sa valorisation économique - Incidence des scénarios de changement climatique sur l'investissement optimal dans une infrastructure - Avantages économiques générés par le maintien en bon état des ouvrages relativement aux coûts. Un prototype développé récemment (interface de type GUI) servira de base au développement de nouveaux outils.

AXE 3 - SUITE

3.4 Conception transdisciplinaire des infrastructures et des villes

Simuler et fabriquer : un savoir-faire transdisciplinaire pour la conception des bâtiments et des infrastructures intelligentes de demain. Ce savoir-faire demeure cependant fortement disciplinaire et fragmenté. Le thème propose un mode de conception innovant et une fabrication paramétrique des bâtiments et des infrastructures en béton de demain, en intégrant les percées technologiques transdisciplinaires (architecture, ingénierie, économie). Une méthodologie de conception paramétrique basée sur les flux de données sur l'environnement va générer des projets adaptés à leur contexte en minimisant les impacts environnementaux des constructions (E1, E4). Cette nouvelle méthodologie de conception 3D facilitera le processus décisionnel pour les différentes autorités publiques tout en facilitant les processus participatifs. La conception paramétrique vise l'optimisation de la matière utilisée pour les projets, tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

3.5 Développement durable : empreinte carbone, ACV et économie circulaire

Les innovations de pointe découlant de la recherche sur le béton permettent la construction d'infrastructures durables à l'empreinte carbone réduite (E3, E6). Ce thème vise à intégrer les aspects environnementaux aux aspects économiques dans les processus décisionnels se rapportant aux infrastructures en béton (modes de construction, etc.). Jusqu'à présent, ce processus repose principalement sur une analyse des coûts. L'analyse du cycle de vie (ACV) est l'outil méthodologique permettant d'évaluer les impacts environnementaux potentiels des produits sur l'ensemble de leur cycle de vie, de l'extraction de la matière première jusqu'à leurs fins de vie. En plus de mieux nous informer sur le profil environnemental des bétons développés, les résultats permettront de bâtir une base de données représentant le contexte géographique du Québec qui, dans une perspective d'économie circulaire, aidera à analyser la performance environnementale du recyclage des matériaux de construction.



CRIB

Centre de recherche sur les
infrastructures en béton

Fonds de recherche
Nature et
technologies

Québec 

sec-crib@gci.ulaval.ca

Université Laval
Pavillon Adrien-Pouliot
1065, avenue de la Médecine
Local 2928P
Québec (Québec)
G1V 0A6

Fonds de recherche
Nature et
technologies
Québec 

 UNIVERSITÉ
LAVAL

 POLYTECHNIQUE
MONTREAL
UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

 Concordia
UNIVERSITY

 UDS
Université de
Sherbrooke

 UQAT
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC
EN ABITIBI-TEMISCAMINGUE

 McGill

 UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

 UQAR
Université
du Québec
à Rimouski