

The logo for ÉTS (École de technologie supérieure) is a red square with the letters 'ÉTS' in white, stylized font.The logo for Adapt'IT INSTITUT features the word 'Adapt'IT' in a green, stylized font with a diagonal line through the 'A', and the word 'INSTITUT' in a smaller, green, sans-serif font below it.

Institut de recherche sur les infrastructures
résilientes et circulaires

A photograph of a city skyline at dusk, with many skyscrapers illuminated. The foreground shows a dense forest of green trees. The image is framed by a large, white, wavy graphic element that curves across the middle of the page.

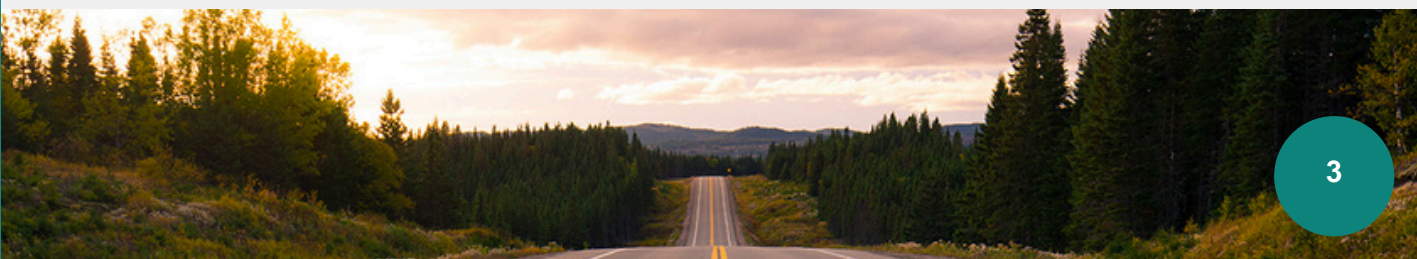
RETOUR SUR LA JOURNÉE

Défis climatiques

Innovons pour les
infrastructures de demain

Table des matières

Contexte	<u>3</u>
Le panel • Les impacts concrets des changements climatiques sur les actifs • Les stratégies et pratiques d'adaptation mises en œuvre • L'innovation technologique et énergétique au cœur de la résilience • Les enjeux financiers et de gouvernance • Les matériaux et la circularité : vers une approche plus durable	<u>4</u>
Atelier 1: Concevoir pour le climat de demain	<u>8</u>
Atelier 2: Faire évoluer les normes de construction dans un monde en changement	<u>12</u>
Atelier 3: Technologies et longévité : Bâtir plus durablement dans un contexte de crise climatique	<u>16</u>
Atelier 4: Adaptation et financement : Intégrer la résilience sur tout le cycle de vie des infrastructures	<u>20</u>
Atelier 5: La résilience de nos systèmes face aux catastrophes	<u>24</u>
Atelier 6: Ouverture vers les marchés européens	<u>27</u>
Conclusion • Lancement d'un appel à propositions	<u>30</u>
Remerciements	<u>31</u>



➔ CONTEXTE

Au Québec, la fragilisation des ponts, des routes, des réseaux énergétiques et des infrastructures côtières rappelle l'ampleur des défis auxquels nous faisons face. Le vieillissement des actifs, combiné aux impacts croissants des changements climatiques, entraîne des pressions importantes sur la sécurité publique, la performance opérationnelle et les capacités financières des organisations. Dans ce contexte, l'Institut AdapT et le Conseil des Infrastructures ont réuni, le 7 octobre dernier à l'ÉTS, des actrices et acteurs issus des milieux municipal, industriel, gouvernemental et universitaire dans le cadre de la journée *Défis climatiques : innovons pour les infrastructures de demain*. L'événement, réalisé avec l'appui du ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie (MEIE) et des Fonds de la recherche du Québec (FRQ), visait à faire émerger des priorités d'action et à identifier des pistes de projets de recherche partenariaux.

La journée s'est structurée autour d'un panel de discussion et de six ateliers thématiques permettant de croiser des perspectives techniques, opérationnelles, économiques et réglementaires. Les échanges ont mis en évidence plusieurs constats convergents :

- la nécessité de renforcer la collaboration intersectorielle et de sortir des approches en silo;
- l'importance d'intégrer l'adaptation climatique dès la conception, plutôt que d'intervenir uniquement en réaction;
- les limites des cadres normatifs, financiers et contractuels actuels pour soutenir l'innovation;
- et la valeur stratégique de la donnée, qu'il s'agisse d'évaluer les risques, de soutenir la maintenance ou de mesurer la performance des solutions déployées.

Sans prétendre répondre à l'ensemble de ces enjeux, cette journée a permis d'ouvrir un espace d'échanges structurant et de poser les bases de collaborations à approfondir. Le présent rapport synthétise les enseignements, propositions et axes de travail qui en découlent, afin d'alimenter les réflexions et les actions à venir pour accélérer la transformation de nos infrastructures dans un contexte de transition climatique.

Panel

Ce panel présente les défis climatiques touchant les infrastructures. Les panélistes ont discuté des impacts concrets des événements extrêmes, des stratégies d'adaptation déjà mises en œuvre, d'électrification, de conception durable, de capteurs intelligents, et des freins financiers et normatifs qui ralentissent l'innovation. Ils ont souligné l'importance d'une meilleure coordination entre recherche, industrie et gouvernement pour accélérer la transition vers des infrastructures plus résilientes, durables et circulaires.

À l'animation:

- Sophie Larivière-Mantha, présidente de l'Ordre des ingénieurs du Québec

Panélistes:

- Philippe Batani, premier vice-président, Affaires publiques, communications et stratégie, CDPQ Infra
- Geneviève Roy, vice-présidente Environnement et développement durable, Pomerleau
- Dominic Lemarquis, vice-président principal de la Société québécoise des infrastructures (SQI)
- Steve Chagnon, directeur Efficacité des projets de construction, Groupe Exploitation et infrastructures, Hydro-Québec



Les impacts concrets des changements climatiques sur les actifs

Les panélistes ont souligné la diversité et l'intensité croissante des impacts climatiques observés sur les infrastructures au Québec.

Les feux de forêt, les pluies verglaçantes, les tempêtes et les vagues de chaleur prolongées entraînent des perturbations majeures dans les réseaux d'énergie, de transport et de construction. Ces phénomènes affectent à la fois la sécurité des opérations, la durabilité des matériaux et la santé des travailleurs sur les chantiers.

Des exemples marquants ont été partagés :

- Les pluies verglaçantes de plus de 10 mm qui compromettent la distribution électrique;
- Les épisodes de chaleur extrême, qui déforment certains matériaux et limitent la capacité opérationnelle des chantiers;
- La gestion du patrimoine bâti vulnérable, comme le déplacement d'un bâtiment historique menacé d'effondrement par l'érosion côtière — un exemple illustrant le coût croissant de l'inaction.

Ces témoignages démontrent la nécessité d'intégrer les risques climatiques dès la planification et de revoir la gestion des actifs à long terme.

Les stratégies et pratiques d'adaptation mises en œuvre

Les acteurs ont insisté sur l'importance d'adapter la conception et la gestion des infrastructures pour tenir compte de nouvelles réalités climatiques.

Plusieurs pratiques émergent :

- Le développement de modèles climatiques appliqués à la planification des projets;
- L'intégration de la géothermie et de la gestion énergétique intelligente dans les bâtiments, notamment dans les écoles;
- L'optimisation des systèmes d'isolation et de ventilation pour répondre à des variations thermiques plus extrêmes;
- L'usage accru de capteurs intelligents pour la maintenance prédictive, notamment dans les chaussées et réseaux d'énergie.

Ces initiatives illustrent le passage d'une approche réactive à une approche proactive et intégrée de l'adaptation. Toutefois, tous s'entendent : l'innovation ne peut se faire en silo. La collaboration interorganisationnelle est essentielle pour mutualiser les connaissances et partager les risques.

L'innovation technologique et énergétique au cœur de la résilience

Les échanges ont mis en évidence le rôle central du secteur de la construction dans les émissions de gaz à effet de serre, notamment en raison de l'utilisation généralisée du diesel sur les chantiers. Plusieurs panélistes ont identifié des pistes prioritaires pour accélérer la transition du secteur vers des pratiques plus sobres en carbone.

Parmi les axes d'action évoqués :

- l'électrification progressive des équipements légers utilisés sur les chantiers;
- l'augmentation du recours au chauffage électrique;
- l'exploration et le déploiement de carburants alternatifs à plus faible empreinte carbone, malgré des enjeux actuels d'approvisionnement;
- la réduction des délais de raccordement électrique pour soutenir l'énergie propre sur les sites de construction;
- le développement de solutions d'excavation et de machinerie adaptées à l'électrification.

Les discussions ont également souligné l'importance de mieux comprendre l'évolution des paramètres climatiques extrêmes, afin d'en intégrer les effets dans la conception, l'entretien et l'exploitation des infrastructures énergétiques. La résilience passe ainsi par la capacité à anticiper les variations climatiques et à adapter les réseaux en conséquence. Dans l'ensemble, l'objectif partagé est de soutenir une transition vers des pratiques et des technologies compatibles avec une énergie plus propre, afin de renforcer la résilience des infrastructures et de réduire leur empreinte environnementale.

Les enjeux financiers et de gouvernance

Les panélistes ont reconnu que le financement de l'adaptation demeure un obstacle majeur. Les études préliminaires et la modélisation des risques exigent des ressources importantes, mais elles restent essentielles pour orienter les décisions d'investissement.

De plus, il a été mentionné qu'il faut lever les craintes et intégrer l'analyse des risques dans la normalisation afin de rassurer les investisseurs et d'éviter les approches fragmentées.

Les freins principaux identifiés :

- Des cadres de financement peu adaptés à la complexité des projets d'adaptation.
- Une culture du risque faible dans les organisations publiques et privées.
- Un manque de coordination entre recherche, gouvernance et financement.

Les intervenant(e)s appellent à une vision commune de la résilience, partagée entre le secteur public, les institutions financières et les entreprises.

Les matériaux et la circularité : vers une approche plus durable

La discussion s'est conclue sur le rôle des matériaux durables et circulaires dans la résilience des infrastructures.

Les intervenant(e)s ont souligné l'importance :

- D'investir dans la recherche sur la durabilité des matériaux face aux cycles de gel et de dégel;
- D'explorer les matériaux à plus faible empreinte carbone comme l'acier, l'aluminium ou le gypse recyclé;
- D'accélérer l'électrification de la production industrielle pour soutenir les objectifs de carboneutralité;
- De collecter systématiquement les données de performance des matériaux pour alimenter les futures normes.

L'usage de l'intelligence artificielle a aussi été évoqué comme levier pour optimiser la planification et la maintenance des actifs. Cependant, les panélistes ont insisté sur la nécessité de mieux financer les phases de recherche appliquée, afin de transformer ces innovations en pratiques courantes.

Conclusion du panel

Ce panel a mis en lumière un constat partagé : l'adaptation des infrastructures aux changements climatiques ne relève plus de la prospective, mais d'une exigence opérationnelle immédiate.

Les solutions existent, mais elles nécessitent un changement de paradigme — passer d'une logique de conformité à une logique de résilience, de collaboration et d'innovation continue.

Les panélistes appellent à renforcer les liens entre les institutions publiques, les acteurs privés et la recherche, afin de bâtir un cadre bâti réellement prêt pour le climat de demain.



Atelier 1

Concevoir pour le climat de demain

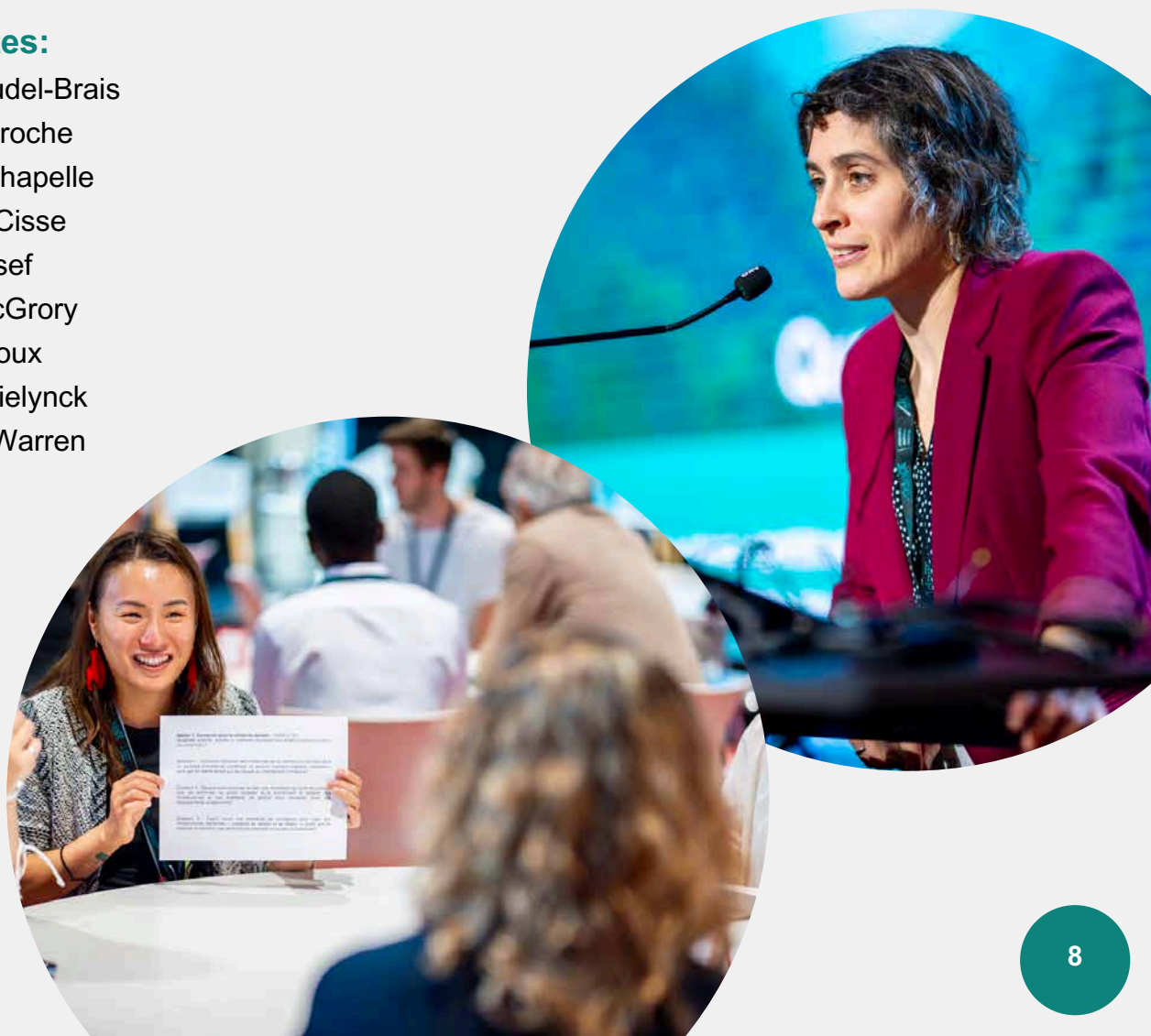
Dans un contexte où les conditions climatiques futures diffèrent radicalement de celles du passé, il est essentiel de repenser la conception même de nos infrastructures. Cet atelier portait sur l'intégration de données climatiques prospectives, la modélisation des risques, la localisation stratégique des ouvrages, et les approches de conception adaptées aux futurs extrêmes. On y a discuté des synergies possibles entre adaptation et atténuation, par exemple à travers le design passif, l'utilisation de matériaux sobres en carbone, et la gestion intégrée des eaux pluviales. L'objectif : favoriser des décisions de conception qui permettent non seulement de réduire les émissions, mais aussi d'augmenter la résilience à long terme.

À l'animation:

- Michel Baraër, professeur, École de technologie supérieure
- Katherine D'Avignon, professeure, École de technologie supérieure
- Jean-Luc Martel, professeur, École de technologie supérieure

Prise de notes:

- Jérôme Trudel-Brais
- Mathieu Laroche
- Patrick Lachapelle
- Mohamed Cisse
- Nour Youssef
- Melanie McGrory
- Fannie Leroux
- Thomas Vrielynck
- Catherine Warren



➔ Question 1

Comment concevoir des infrastructures qui demeurent robustes dans un contexte d'incertitude climatique, et peut-on vraiment préparer l'adaptation sans agir en même temps sur les causes du changement climatique?

Problématiques soulevées

- Les modèles climatiques utilisés pour la conception présentent encore un haut degré d'incertitude, notamment sur les projections locales et les événements extrêmes;
- Cette incertitude amène une tension entre adaptation (faire face aux impacts) et atténuation (réduire les causes). Beaucoup d'infrastructures sont conçues pour s'adapter, sans réduire leur empreinte environnementale;
- La planification actuelle repose encore largement sur des données historiques, peu représentatives du climat futur;
- Les méthodes d'ingénierie demeurent trop linéaires et ne permettent pas d'intégrer les dynamiques complexes et non stationnaires du climat.

Pistes de solution

- Intégrer dès la conception une approche « double bénéfice », qui combine adaptation et atténuation (p. ex. : gestion des eaux pluviales naturelle, matériaux bas carbone et durables, efficacité énergétique);
- Renforcer la collaboration entre climatologues, ingénieurs et urbanistes pour traduire les scénarios climatiques en paramètres de conception opérationnels;
- Mettre en place des mécanismes de veille climatique et des bases de données centralisées, permettant d'actualiser les paramètres de conception en continu;
- Promouvoir des politiques publiques intégrées liant planification du territoire, émissions de GES et résilience des infrastructures.

Besoins de recherche

- Développer des outils de modélisation multi-échelles combinant climat, matériaux et comportement structurel;
- Produire des données régionales fiables et accessibles sur les aléas futurs (températures extrêmes, précipitations, cycles gel/dégel, etc.);
- Identifier les co-bénéfices quantifiables entre adaptation et atténuation pour appuyer la prise de décision publique et privée.

➔ Question 2

Devons-nous continuer à viser une conception qui tente de contenir tous les extrêmes, ou plutôt accepter qu'ils surviennent et adapter nos infrastructures et nos stratégies de gestion pour composer avec ces dépassements occasionnels ?

Problématiques soulevées

- La conception actuelle repose sur des valeurs de calcul extrêmes, souvent issues d'analyses statistiques du passé. Cette approche devient insuffisante avec la fréquence accrue des événements climatiques;
- Le surdimensionnement systématique des infrastructures engendre des coûts économiques et environnementaux importants;
- Une conception « parfaite » mais rigide peut se révéler moins efficace qu'un système plus flexible et évolutif;
- Les politiques de financement favorisent encore le court terme et la performance immédiate, au détriment de la durabilité.

Pistes de solution

- Passer d'une logique de prévision à une logique d'adaptation dynamique : accepter certains dépassements occasionnels, mais concevoir pour une récupération rapide;
- Promouvoir des infrastructures modulables, réparables et évolutives, intégrant la notion de flexibilité au cœur du design;
- Mettre en place des plans de gestion adaptatifs pour assurer une exploitation réactive lors d'événements extrêmes;
- Encourager les donneurs d'ouvrage à considérer la valeur sur le cycle de vie complet, incluant les coûts d'entretien et d'interruption de service.

Besoins de recherche

- Élaborer des modèles d'ingénierie de la flexibilité, capables d'évaluer les bénéfices d'une approche adaptative par rapport à une conception figée;
- Documenter les cas de dépassement contrôlé (inondations gérées, infrastructures amphibies, etc.) pour inspirer les pratiques locales;
- Définir des indicateurs de résilience mesurables intégrant performance, redondance et capacité de récupération.

➔ Question 3

Faut-il revoir nos normes de conception pour viser des infrastructures résilientes — capables de résister et se rétablir — plutôt que de chercher à maintenir une performance maximale en toutes circonstances ?

Problématiques soulevées

- Les codes et normes de conception reposent encore sur des principes de stabilité et de sécurité à court terme, sans intégrer la notion de performance évolutive;
- La culture de la performance maximale empêche souvent d'adopter des marges d'incertitude et de flexibilité nécessaires à la résilience;
- Le manque de mécanismes institutionnels pour actualiser les normes et encourager l'expérimentation freine l'évolution du cadre réglementaire;
- La responsabilité juridique en cas de défaillance demeure un frein majeur à l'innovation et à la conception adaptative.

Pistes de solution

- Introduire des standards de performance résiliente, fondés sur la capacité à maintenir les fonctions essentielles plutôt que sur la stricte conformité;
- Mettre en place des projets pilotes encadrés pour tester de nouvelles approches constructives et évaluer leur efficacité réelle;
- Favoriser des boucles de rétroaction entre la recherche, la pratique et la normalisation.
- Créer des mécanismes de gouvernance agile pour accélérer la révision des codes et la diffusion des innovations éprouvées.

Besoins de recherche

- Définir des méthodes d'évaluation normalisées de la résilience dans les infrastructures (indicateurs, seuils, temps de récupération);
- Étudier les modèles internationaux de normalisation adaptative (p. ex. : Europe, Japon) pour inspirer les pratiques locales;
- Documenter les retours d'expérience post-aléas pour enrichir la révision des codes de conception;
- Améliorer la communication auprès de la population tant liée à l'adaptation de leur milieu de vie que des actions à prendre pour se préparer aux événements météorologiques extrêmes.

Atelier 2

Faire évoluer les normes de construction dans un monde en changement

Les normes actuelles peinent à suivre la vitesse des transformations climatiques, technologiques et sociales. Cet atelier proposait une réflexion sur les mécanismes et leviers à mobiliser pour faire évoluer les codes et normes de construction afin de mieux intégrer les principes de résilience, d'adaptation et de durabilité.

À l'animation:

- Julie-Anne Chayer, vice-présidente, responsabilité d'entreprise, Groupe AGÉCO
- Hugo Lafrance, associé, directeur stratégies durables, Lemay
- Gabriel Jobidon, professeur, École de technologie supérieure

Prise de notes:

- Camilo Escobar Suaza
- Narimene Midoune
- Benz Ngwanga Bilam
- Clément Blanquet
- Émilie Bilodeau
- Souha Boudaya
- Béatrice Turcotte
- Wiem Mootamri



➔ Question 1

Quels sont les principaux freins à l'évolution des normes de construction : la complexité technique, la gouvernance, ou plutôt l'inertie culturelle et institutionnelle ?

Problématiques soulevées

Les normes jouent un rôle essentiel de garantie et de sécurité, mais elles deviennent également un frein à l'innovation et à la résilience. Le processus de révision demeure lourd, coûteux et trop lent par rapport à l'évolution des technologies et des connaissances climatiques.

Trois catégories de freins ont été identifiées :

- Techniques : les normes sont trop prescriptives et limitent l'expérimentation. Le suivi des nouvelles technologies ou matériaux est coûteux et difficile. La responsabilité en cas d'échec ou de défaillance n'est pas clairement définie, ce qui freine la prise de risque;
- Institutionnels et de gouvernance : les processus de révision sont longs et fragmentés, souvent en silo, entre acteurs municipaux, provinciaux et fédéraux. Le cycle de mise à jour (environ 5 ans) ne permet pas d'intégrer rapidement les nouvelles connaissances;
- Culturels : la culture de conformité et la peur du risque dominant encore. La sensibilisation à l'innovation demeure faible, et la formation technique ou professionnelle ne prépare pas toujours à des approches agiles.

Pistes de solution

- Passer de normes prescriptives à des normes de performance, axées sur les résultats (résilience, durabilité, émissions);
- Introduire des mécanismes d'ajustement local, permettant de tenir compte des réalités régionales (climat, typologie du bâti, capacités techniques);
- Favoriser la cohésion intersectorielle, notamment entre la recherche, l'industrie et les instances réglementaires;
- Moderniser les processus de gouvernance pour réduire le « mille-feuille réglementaire » et accélérer la mise à jour des codes.

Besoins de recherche

- Des indicateurs de performance adaptés aux risques climatiques;
- Des bases de données ouvertes sur les comportements réels des matériaux et systèmes;
- Des approches comparatives internationales pour identifier des modèles de révision plus agiles.

➔ Question 2

Faut-il permettre des « dérogations climatiques » aux normes pour tester de nouvelles approches résilientes ? Si oui, quelles innovations concrètes devraient être mises à l'essai et comment encadrer ces expérimentations ?

Problématiques soulevées

L'idée de dérogations climatiques suscite un intérêt certain, mais aussi des craintes liées au risque et à la responsabilité. Actuellement, les innovations sont souvent freinées par le manque d'espace d'expérimentation sécuritaire. Les codes, pensés pour minimiser les risques à court terme, ne laissent que peu de marge pour tester de nouvelles approches en contexte réel.

Pistes de solution

- Mettre en place des espaces d'expérimentation encadrés (zones pilotes ou projets démonstrateurs), autorisés par la Régie du bâtiment du Québec ou d'autres instances, pour valider des innovations avant leur intégration aux normes;
- Définir un cadre d'analyse de risques adapté : chaque projet pilote devrait s'appuyer sur une évaluation de vulnérabilité, une priorisation des risques et un suivi documenté;
- Réserver un pourcentage fixe des budgets publics (p. ex. 1 %) à l'expérimentation et à la recherche appliquée.
- Favoriser les approches collaboratives comme l'Integrated Project Delivery (IPD), qui permettent de partager les risques entre les partenaires;
- Valoriser l'innovation frugale : des solutions simples, locales et efficaces, plutôt que de lourds changements réglementaires;
- Mieux encadrer les projets dérogatoires par la collecte et la diffusion de données probantes : les apprentissages issus des projets pilotes devraient être publiés et intégrés aux futurs codes.

Besoins de recherche

- Étudier les conditions socio-économiques et techniques pour encadrer l'innovation sécuritaire dans le secteur du bâtiment;
- Documenter les bénéfices à long terme des dérogations climatiques et de l'expérimentation sur la performance et la durabilité;
- Développer des méthodologies d'évaluation du risque partagée entre assureurs, concepteurs et donneurs d'ouvrage.

➔ Question 3

Qui devrait porter la responsabilité d'actualiser les normes : l'État, les ordres professionnels, ou l'industrie ? Et comment repenser la gouvernance pour donner une vision plus agile et innovante ?

Problématiques soulevées

- La gouvernance de la normalisation est actuellement perçue comme complexe et fragmentée. Les responsabilités sont partagées entre de multiples acteurs : le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), la Régie du bâtiment du Québec (RBQ), les ordres professionnels, et les associations industrielles. Cette dispersion ralentit la prise de décision et crée des décalages entre les besoins du terrain et les mises à jour réglementaires;
- L'importance de revoir le lien entre financement, recherche et gouvernance : sans soutien financier et sans culture de collaboration, les changements resteront lents.

Pistes de solution

- Créer une table intersectorielle permanente réunissant les ordres professionnels, l'État, l'industrie, les municipalités et les chercheurs pour coordonner les mises à jour et suivre l'évolution des pratiques;
- Introduire des mécanismes de rétroaction continue entre les chantiers, la recherche et la normalisation, afin d'assurer une boucle d'apprentissage active;
- Encourager une culture de collaboration et non de conformité : intégrer la formation continue sur les normes et les innovations dans les ordres professionnels;
- Promouvoir la responsabilité partagée : l'État fixe les objectifs et le cadre, l'industrie et les ordres les traduisent en pratiques concrètes;
- Financer la participation des expert(e)s québécois aux comités techniques nationaux et internationaux pour renforcer la voix locale dans la normalisation.

Besoins de recherche

- Analyser les modèles de gouvernance adaptative utilisés ailleurs (Europe, Scandinavie) et leur applicabilité au contexte québécois;
- Étudier les impacts des approches de gouvernance collaborative sur la rapidité et la qualité des mises à jour normatives;
- Évaluer les coûts et bénéfices d'une révision accélérée des normes dans une optique de résilience climatique.

Atelier 3

Technologies et longévité : bâtir plus durablement dans un contexte de crise climatique

Cet atelier a réuni les réflexions sur la durabilité matérielle des actifs avec les innovations numériques qui transforment leur gestion. On y a exploré comment les technologies, telles que les jumeaux numériques, les capteurs intelligents et l'IA peuvent appuyer une gestion proactive des infrastructures, prédire les défaillances, optimiser l'entretien, et allonger leur durée de vie utile. Ces innovations ont été mises en relation avec des stratégies d'ingénierie et de conception visant à minimiser l'empreinte environnementale et à améliorer la résilience dans un contexte d'aléas croissants. L'atelier a aussi fait place à la discussion sur les conditions nécessaires à l'implantation de ces technologies à grande échelle.

À l'animation:

- Maude Brunet, professeure, HEC Montréal
- Annie Levasseur, professeure, École de technologie supérieure
- Erik Poirier, professeur, École de technologie supérieure

Prise de notes:

- Narimene Midoune
- Camilo Escobar Suaza
- Mathieu Laroche
- Émilie Bilodeau
- Mohamed Cisse
- Nour Youssef
- Béatrice Turcotte
- Wiem Mootamri



➔ Question 1

Quel est, selon vous, le déficit de maintien d'actifs le plus marquant dans votre domaine ? Pouvez-vous partager un exemple concret ?

Problématiques soulevées

Un déficit chronique du maintien des infrastructures publiques et municipales existe et il est estimé à plusieurs milliards de dollars. Ce déficit découle autant d'un manque de financement que d'une culture organisationnelle orientée vers la construction neuve plutôt que vers la maintenance.

Plusieurs secteurs ont été cités :

- Eau potable, routes et ouvrages d'art, particulièrement touchés par les effets des aléas climatiques et par le vieillissement simultané des actifs;
- Bâtiments publics, dont l'isolation et les systèmes énergétiques sont souvent inefficients;
- Infrastructures souterraines, difficiles à suivre et entretenir, menant à des interventions répétitives et coûteuses.

Les causes principales :

- Absence de culture de l'entretien préventif et prédictif;
- Cloisonnement entre conception, exploitation et maintenance;
- Complexité du financement public, souvent dépendant des cycles politiques;
- Manque de coordination entre les acteurs, entraînant des redondances ou des retards.

Pistes de solution

- Impliquer dès la conception les équipes d'exploitation et de maintenance, pour anticiper les besoins futurs;
- Favoriser la planification à long terme, indépendante des cycles électoraux, en ancrant la maintenance dans les budgets récurrents;
- Créer une culture de l'entretien valorisant la performance à long terme plutôt que le rendement à court terme;
- Établir des priorités de maintien selon la criticité et la vulnérabilité des actifs.

Besoins de recherche

- Développer des indicateurs intégrés de performance du maintien d'actifs;
- Documenter les liens entre conception initiale et coûts d'entretien futurs;
- Étudier les impacts économiques du sous-investissement dans l'entretien comparativement au coût de remplacement.

➔ Question 2

Quels sont les principaux enjeux rencontrés pour assurer le maintien de ces actifs ?

Problématiques soulevées

Le maintien des infrastructures est souvent relégué au second plan, faute de visibilité politique ou de structure de gouvernance adaptée. Les principaux défis évoqués :

- Volonté politique et financement instable : les plans de maintien sont difficiles à défendre politiquement, car les bénéfices ne sont visibles qu'à long terme;
- Fragmentation des responsabilités : les concepteurs, exploitants et financeurs ne partagent ni les mêmes horizons ni les mêmes budgets;
- Manque de données fiables et homogènes : les inventaires d'actifs sont incomplets, les systèmes de suivi peu interopérables;
- Manque d'expertise, notamment dans les petites municipalités qui dépendent de consultants externes;
- Faible adoption des outils numériques comme le BIM et les bases de données intégrées.

Pistes de solution

- Établir des plans de maintien obligatoires à long terme, adossés à des financements dédiés;
- Inclure dans les contrats publics des clauses de responsabilité prolongée (garanties, suivis post-construction);
- Former le personnel municipal et institutionnel à la gestion d'actifs basée sur les données;
- Favoriser une gouvernance plus intégrée entre les paliers de gouvernement et les partenaires privés;
- Inclure systématiquement des indicateurs de résilience dans les critères de performance.

Besoins de recherche

- Identifier les modèles de gouvernance et de financement qui favorisent la durabilité des actifs;
- Étudier les retombées économiques des approches intégrées (conception + exploitation + maintenance);
- Documenter les effets d'une culture du maintien préventif sur la réduction des coûts à long terme.

➔ Question 3

Quelles solutions, notamment technologiques, pourraient améliorer la gestion et prolonger la durée de vie de ces actifs ? Et comment s'assurer de la résilience de ces infrastructures aux changements climatiques ?

Problématiques soulevées

- Les outils numériques existent, mais qu'ils sont encore sous-utilisés et souvent appliqués trop tard dans le cycle de vie des projets. Le manque de données de qualité freine la maintenance prédictive, tandis que les ressources humaines et financières sont cannibalisées par les projets de construction.

Pistes de solution

- Déployer les technologies de suivi intelligent (capteurs, jumeaux numériques, IA) dès la conception, pour collecter des données en continu et prédire les défaillances;
- Investir dans la modélisation et la simulation climatique pour anticiper les effets à long terme sur les actifs;
- Créer un fonds de maintien d'actifs (similaire aux fonds de réhabilitation miniers), garantissant la disponibilité des ressources pour l'entretien futur;
- Introduire des incitatifs financiers pour les concepteurs et entrepreneurs qui intègrent la durabilité et la résilience dans leurs projets;
- Favoriser la transparence envers les citoyens, notamment sur l'état des infrastructures et les coûts d'entretien;
- Prioriser la rénovation et la prolongation de la vie utile plutôt que la reconstruction systématique;
- Promouvoir l'utilisation de matériaux sobres en carbone et de solutions de design passif pour minimiser l'entretien futur.

Besoins de recherche

- Développer des modèles prédictifs intégrant données climatiques, usage et performance des matériaux;
- Évaluer la rentabilité des approches de maintenance intelligente à long terme;
- Explorer les approches collaboratives (ex. conception intégrée, jumeaux numériques partagés) pour améliorer la continuité entre conception, exploitation et adaptation climatique.

Atelier 4

Adaptation et financement : Intégrer la résilience sur tout le cycle de vie des infrastructures

Comment financer l'adaptation de manière efficace et durable ? Cet atelier a abordé les enjeux liés à l'intégration des coûts d'adaptation dès la planification, aux modèles de financement innovants, et aux critères ESG. L'objectif : faire de la résilience un élément central dans les décisions d'investissement.

À l'animation:

- Mathieu Boudreault, professeur, UQAM
- Marcelin Joanis, professeure, Université de Montréal
- Gabriel Jobidon, professeur, École de technologie supérieure
- Marjène Rabah, professeure-enseignante, École de technologie supérieure

Prise de notes:

- Jérôme Trudel-Brais
- Melanie McGrory
- Patrick Lachapelle
- Benz Ngwanga Bilam
- Clément Blanquet
- Thomas Vrielynck
- Souha Boudaya



➔ Question 1

Pourquoi l'adaptation reste-t-elle absente de la majorité des analyses de rentabilité ?

Problématiques soulevées

L'adaptation est rarement valorisée dans les modèles économiques actuels, principalement en raison d'un décalage temporel entre les coûts immédiats et les bénéfices différés, mais aussi d'un manque de données économiques, sociales et environnementales fiables.

- Les analyses sont souvent limitées à des horizons de 3 à 5 ans, alors que les bénéfices de l'adaptation se manifestent à 20 ou 30 ans;
- Les coûts de l'inaction ne sont pas intégrés, bien que les catastrophes récentes démontrent leur ampleur;
- Les indicateurs de rentabilité ne tiennent compte ni du capital naturel ni du capital social.
- La logique du plus bas soumissionnaire limite les investissements préventifs;
- Les municipalités, en première ligne face aux aléas, n'ont ni les ressources ni les incitatifs nécessaires pour investir dans l'adaptation;
- Le secteur assurantiel peine à valoriser le risque évité : plusieurs risques climatiques ne sont d'ailleurs plus couverts;
- Enfin, les modèles financiers publics et privés reposent sur des données incomplètes, souvent incompatibles entre elles (OPEX/CAPEX dissociés, absence de logique de cycle de vie).

Pistes de solution

- Intégrer l'analyse du cycle de vie complet (construction, exploitation, entretien, fin de vie) dans les études de rentabilité;
- Créer des cadres économiques à long terme, fondés sur la valeur du risque évité et la durabilité des actifs;
- Inclure systématiquement des analyses coûts-bénéfices élargies, intégrant les externalités environnementales et sociales;
- Mobiliser les assureurs et investisseurs institutionnels (ex. CDPQ) comme catalyseurs : ils savent mesurer le risque climatique et pourraient aider à tarifier la non-adaptation;
- Développer des mécanismes d'incitation financière : subventions conditionnelles, crédits carbone, ou fonds d'adaptation dédiés.

Besoins de recherche

- Développer des modèles économiques intégrant le triple capital;
- Quantifier la valeur économique des bénéfices écosystémiques et des coûts évités;
- Documenter les approches européennes (ex. UE Taxonomy, Green Deal) pour les adapter au contexte canadien.

➔ Question 2

Est-ce que les critères ESG actuels sont suffisants pour intégrer la résilience ?

Problématiques soulevées

Les critères ESG sont un bon point de départ, mais insuffisants et trop flous pour garantir l'intégration réelle de la résilience.

- Les ESG sont appliqués de manière volontaire, sans cadre contraignant ni standardisation;
- Les indicateurs de résilience sont peu quantifiables, souvent qualitatifs et inégaux selon les projets;
- Les entreprises peuvent choisir sélectivement les critères qui les avantagent, un phénomène qualifié de « wishful thinking » ou de « collaboration washing »;
- Le manque de leadership institutionnel entretient un cercle vicieux : sans standard clair, les organisations hésitent à s'engager, et les lignes directrices n'évoluent pas;
- Enfin, les ESG sont souvent perçus comme des outils de reddition de comptes plutôt que de transformation stratégique.

Pistes de solution

- Rendre les ESG obligatoires et normés, en intégrant des indicateurs précis de résilience et d'adaptation;
- S'appuyer sur les normes internationales émergentes;
- Développer des cadres méthodologiques pour mesurer la résilience des infrastructures (p. ex. résilience du réseau, capacité d'auto-organisation locale);
- Intégrer les ESG dans les codes de déontologie professionnelle;
- Créer des mécanismes d'évaluation publique : cotes de performance environnementale ou sociale imposées par les gouvernements;
- Inclure les ESG dans les processus d'approvisionnement responsables pour favoriser la cohérence entre chaînes d'approvisionnement et objectifs de durabilité;
- Miser sur des indicateurs régionaux différenciés, tenant compte des contextes géographiques et des vulnérabilités locales.

Besoins de recherche

- Évaluer les impacts réels des ESG sur la résilience et les comportements organisationnels;
- Développer des indicateurs de mesure de la résilience à l'échelle du projet et du territoire;
- Étudier les cadres réglementaires permettant d'institutionnaliser les ESG au Canada.

➔ Question 3

Comment convaincre les bailleurs de fonds d'intégrer les bénéfices à long terme de l'adaptation dans leurs décisions ?

Problématiques soulevées

Les bailleurs de fonds, qu'ils soient publics ou privés, peinent à intégrer l'adaptation : les bénéfices sont diffus, les risques difficiles à quantifier et les résultats longs à mesurer.

- Les données sur les bénéfices économiques de l'adaptation (coûts évités, allongement de la durée de vie, valeur d'usage) sont encore rares ou trop incertaines;
- Les risques physiques liés aux changements climatiques ne sont pas pleinement intégrés dans les modèles de financement;
- Les institutions financières sont réticentes à financer des projets expérimentaux jugés risqués, faute de garanties et de cadres d'assurance adaptés.

Pistes de solution

- Développer des outils d'évaluation financière de la résilience, incluant la perte de valeur d'usage (ex. bâtiments inutilisables durant une canicule ou inondation);
- Quantifier les coûts de l'inaction et les intégrer dans les analyses économiques officielles;
- Mettre en place des fonds dédiés à la résilience, inspirés des fonds de réhabilitation minière;
- Utiliser la réglementation comme levier : rendre obligatoire l'intégration des coûts climatiques et du cycle de vie dans les projets publics;
- Introduire des incitatifs financiers : prêts à taux réduit, crédits d'impôt, subventions conditionnelles à la performance climatique;
- Encourager la reddition de comptes : suivi public des économies réalisées grâce à l'adaptation;
- Miser sur la communication des gains : valoriser les projets résilients comme exemples de leadership et de rentabilité sociétale;
- Favoriser les approches collaboratives entre gouvernements, assureurs, institutions financières et chercheurs pour fiabiliser les données de risque.

Besoins de recherche

- Élaborer des méthodes de monétisation des bénéfices à long terme (santé, bien-être, biodiversité);
- Étudier les modèles de gouvernance financière favorisant les investissements préventifs.

Atelier 5

La résilience de nos systèmes face aux catastrophes

Comment mieux se préparer face à des chocs climatiques majeurs (inondations, feux de forêt, tempêtes) et assurer la continuité des services essentiels? Cet atelier a exploré des outils, des approches organisationnelles et des modèles de gouvernance pour renforcer la préparation et la collaboration face à une situation de crise.

À l'animation:

- Maude Brunet, professeure, HEC Montréal
- Benoît Robert, professeur, Polytechnique Montréal

Prise de notes:

- Jérôme Trudel-Brais
- Melanie McGrory
- Mathieu Laroche
- Mohamed Cisse
- Émilie Bilodeau
- Nour Youssef
- Thomas Vrielynck
- Souha Boudaya



➔ Question 1

Quels seraient les mécanismes de coordination multisectoriels entre les infrastructures critiques (IC) à mettre en place avant les catastrophes (phase de préparation), et comment les maintenir dans le temps ?

Problématiques soulevées

- La préparation face aux catastrophes repose encore sur des approches fragmentées, sous-financées et peu actualisées;
- Les plans de mesures d'urgence (PMU) municipaux existent, mais leur mise à jour, leur test et leur coordination intersectorielle demeurent limités;
- Les communications entre acteurs sont souvent incomplètes et les vulnérabilités systémiques (dépendance à l'électricité, manque de redondance, faible disponibilité des premiers répondants) sont mal connues;
- L'absence d'analyse intégrée des risques empêche de bien prioriser les interventions, et les mécanismes de concertation entre crises restent trop temporaires.

Pistes de solution

- Mettre en place une coordination multisectorielle permanente incluant municipalités, gouvernements, entreprises et citoyens;
- Bonifier les PMU pour intégrer les infrastructures critiques (énergie, eau, transport, télécommunication);
- Créer des comités régionaux appuyés par des ressources dédiées et des protocoles d'échange d'information;
- Favoriser les ententes interprovinciales et internationales pour le partage de ressources et la redondance des réseaux essentiels;
- Développer des bases de données communes pour l'analyse des vulnérabilités et réaliser régulièrement des simulations conjointes;
- Adapter les plans d'urgence à la taille des municipalités et promouvoir une gestion intégrée des actifs pour anticiper les mesures de sécurité.

Besoins de recherche

- Concevoir des outils de cartographie intégrée des risques et vulnérabilités territoriales;
- Évaluer les bénéfices des systèmes de redondance et des ententes intersectorielles pour la continuité des services;
- Documenter les meilleures pratiques internationales en matière de coordination pré-catastrophe.

➔ Question 2

Quel cadre de gouvernance peut-on mettre en place pour mettre en œuvre ces mécanismes ?

Problématiques soulevées

- L'absence d'un cadre de gouvernance clair entraîne un morcellement des responsabilités entre municipalités, MRC, provinces et gouvernement fédéral;
- Les plans d'urgence et de maintien des opérations existent, mais leur mise à jour et leur appropriation varient d'un milieu à l'autre;
- Les infrastructures critiques dépendent souvent d'acteurs privés sans obligation de coordination, ce qui crée des zones grises;
- La communication publique manque parfois de clarté et d'inclusivité, réduisant la confiance et la réactivité en situation de crise;
- Enfin, aucun mécanisme formel ne garantit la continuité, la reddition de comptes et la cohérence des actions entre paliers.

Pistes de solution

- Instaurer une gouvernance à plusieurs échelles :
 - Locale : plans d'urgence et comités citoyens;
 - Régionale : coordination entre municipalités et services;
 - Provinciale/fédérale : supervision, harmonisation et financement.
- Définir un cadre permanent avec des rôles, protocoles et mécanismes de révision annuels clairement établis;
- Créer un fonds public dédié à la préparation et à la résilience, en complément des programmes fédéraux;
- Valoriser et mettre à jour les plans de maintien des opérations (PMO) dans les institutions stratégiques;
- Réviser les normes et règlements pour y intégrer la résilience et la continuité opérationnelle;
- Renforcer la communication publique et l'inclusion des populations vulnérables dans la planification et la réponse aux crises.

Besoins de recherche

- Étudier les modèles de gouvernance collaborative les plus efficaces pour la gestion des catastrophes;
- Identifier les leviers politiques permettant d'intégrer la résilience dans la réglementation municipale et provinciale;
- Évaluer l'apport des simulations et approches participatives dans l'efficacité de la gouvernance de crise.

Atelier 6

Ouverture vers les marchés européens

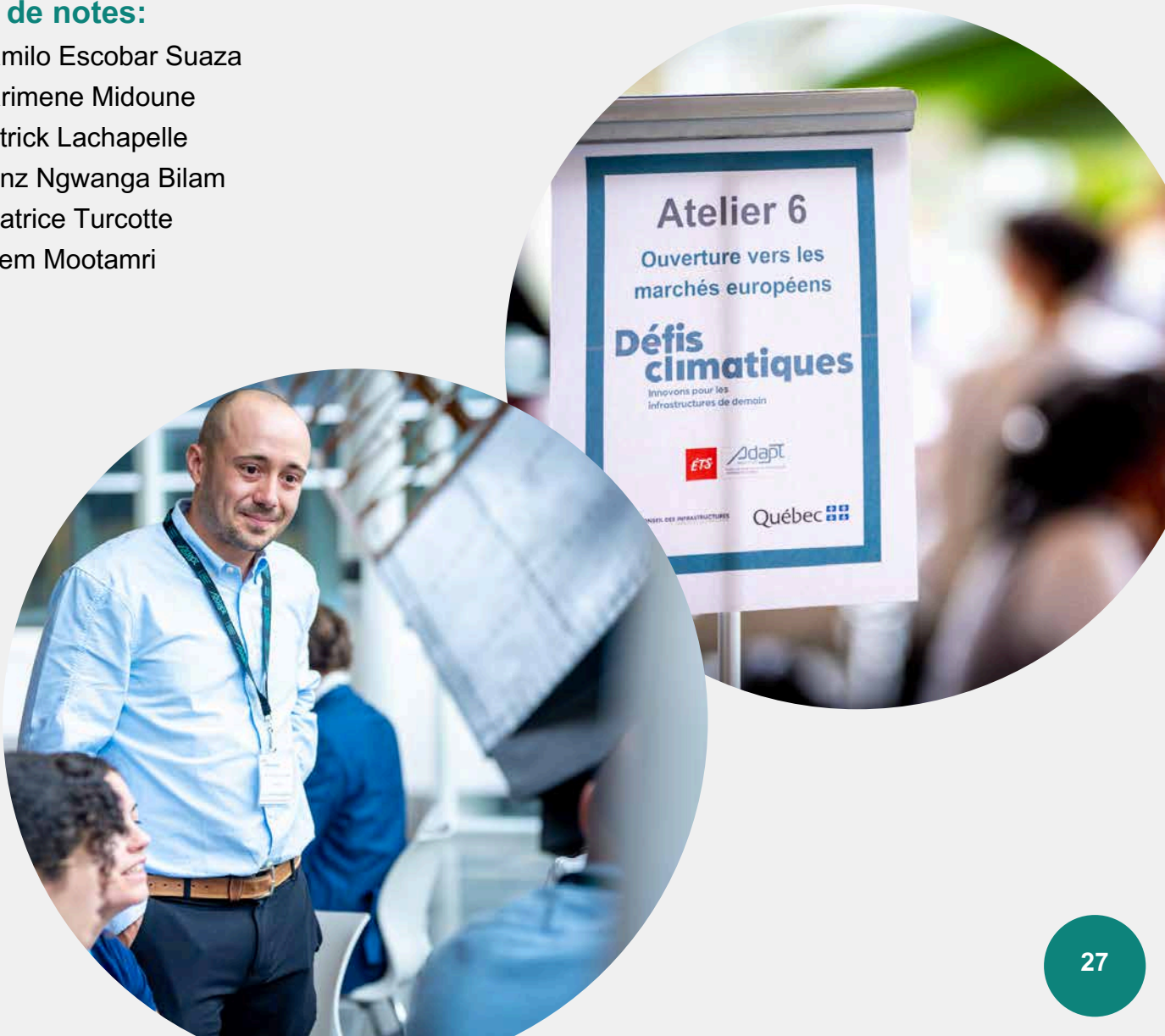
Avec l'évolution des exigences réglementaires et environnementales, comment se positionner sur les marchés internationaux ? Cet atelier a exploré les opportunités et défis liés au passeport numérique des matériaux, à la circularité, à la transparence des chaînes d'approvisionnement, et à la compétitivité des infrastructures québécoises dans un contexte européen.

À l'animation:

- Gabriel Jobidon, professeur, École de technologie supérieure
- Hortense Montoux, chargée de projet, Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire (CERIEC)
- Clément Blanquet, assistant à la recherche, École de technologie supérieure

Prise de notes:

- Camilo Escobar Suaza
- Narimene Midoune
- Patrick Lachapelle
- Benz Ngwanga Bilam
- Béatrice Turcotte
- Wiem Mootamri



➔ Question 1

Quels sont les principaux freins rencontrés par les acteurs québécois pour accéder aux marchés européens dans le secteur des infrastructures ?

Problématiques soulevées

- Les écarts normatifs et réglementaires entre le Québec et l'Europe freinent l'accès aux marchés : différences dans les codes de construction, les appels d'offres et les exigences environnementales;
- Les conditions d'admissibilité européennes exigent souvent une expérience locale ou la présence d'un bureau sur le territoire, limitant la participation des entreprises québécoises;
- Le manque de connaissance du marché — besoins, acteurs, cadres légaux — complique les démarches d'implantation;
- Les différences linguistiques, culturelles et organisationnelles, de même que la taille plus importante des projets européens, accentuent les défis d'adaptation;
- Enfin, la dépendance historique au marché nord-américain réduit la motivation à investir dans un contexte plus complexe, tandis que les climats et priorités environnementales divergent d'un continent à l'autre.

Pistes de solution

- Former des alliances stratégiques avec des firmes ou consortiums européens partageant des valeurs d'innovation, de durabilité et de résilience;
- Créer un guichet d'accompagnement pour soutenir l'internationalisation des entreprises québécoises en infrastructures;
- Développer des portfolios de projets conformes aux standards européens et offrir de la formation sur les cadres réglementaires;
- Favoriser les programmes conjoints de recherche et développement entre le Canada et l'Union européenne pour renforcer la compréhension mutuelle;
- Renforcer la représentation institutionnelle québécoise en Europe pour accompagner les entreprises dans leurs démarches administratives et culturelles.

Besoins de recherche

- Comparer les cadres normatifs européens et québécois pour identifier les zones de convergence;
- Documenter les stratégies d'intégration réussies d'autres marchés étrangers;
- Explorer les modèles de partenariat public-privé transnationaux comme leviers d'accès aux grands projets européens.

➔ Question 2

Comment les acteurs québécois peuvent-ils se préparer à l'arrivée du passeport numérique des matériaux en Europe, et quelles formes de collaboration pourraient transformer cette contrainte en opportunité ?

Problématiques soulevées

- Le passeport numérique des matériaux, axé sur la traçabilité et la circularité, marque un virage majeur pour le secteur;
- Le manque de données structurées sur les matériaux, leurs provenances et cycles de vie limite la conformité;
- La traçabilité demeure fragmentée : les chaînes d'approvisionnement internationales compliquent la certification d'origine et de transformation;
- Les échanges entre manufacturiers, transformateurs et donneurs d'ouvrage restent faibles, et les normes de suivi numérique manquent d'harmonisation;
- S'ajoutent un retard technologique et un déficit d'expertise en métadonnées, éco-conception et outils de traçabilité.

Pistes de solution

- Créer des bases de données nationales sur les matériaux et harmoniser les normes de traçabilité avec les cadres européens;
- Soutenir la recherche appliquée et les partenariats intersectoriels sur les passeports numériques;
- Offrir des formations ciblées pour les professionnels du génie, de l'architecture et de la gestion d'actifs;
- Standardiser les données via des outils BIM et intégrer la traçabilité dès la conception des projets;
- Mettre en place un réseau intersectoriel réunissant gouvernements, associations et entreprises pour transformer la donnée en actif stratégique.

Besoins de recherche

- Déterminer les données essentielles à inclure dans les passeports numériques selon les types de matériaux;
- Évaluer les impacts économiques et opérationnels de leur mise en œuvre pour les entreprises québécoises;
- Explorer les modèles de gouvernance des données et les retombées potentielles sur la circularité et la compétitivité locales.

➔ Conclusion

Lancement d'un appel à propositions

Face à l'accélération des changements climatiques et au vieillissement des infrastructures, le Québec doit renforcer sa capacité d'anticipation, de planification et d'innovation. Les échanges de la journée ont démontré l'importance d'un dialogue continu entre les milieux de la recherche, les gestionnaires publics, l'industrie et les décideurs. Pour consolider cette collaboration et soutenir le développement de solutions concrètes, l'Institut AdapT et le Conseil des Infrastructures, avec le soutien du Fonds de recherche du Québec, ont annoncé la création de la **Chaire de recherche AdapT–Conseil des Infrastructures pour l'adaptation aux enjeux climatiques**.

Dotée d'un financement annuel de 100 000 \$ sur cinq ans, la Chaire a pour mandat de produire de nouvelles connaissances et de développer des outils opérationnels permettant d'adapter les infrastructures aux réalités climatiques émergentes. Ses travaux seront menés en étroite collaboration avec les organisations membres du Conseil des Infrastructures, afin que la recherche réponde à des besoins concrets de terrain.

En parallèle, **un appel à projets d'une valeur totale de 100 000 \$** a été lancé pour appuyer le démarrage de projets de recherche collaboratifs sur l'adaptation des infrastructures. Celui-ci permettra de soutenir des initiatives ciblées et transdisciplinaires, mobilisant chercheurs, ingénieurs, planificateurs, municipalités et entreprises autour de solutions applicables à court et moyen terme.

Cet ensemble d'initiatives marque une étape importante : il ouvre la voie à une communauté de pratique durable, structurée autour d'une vision commune de l'innovation pour des infrastructures plus résilientes, plus durables et mieux adaptées aux transformations du climat.



➔ Remerciements

L'Institut AdapT tient à exprimer sa profonde gratitude à ses partenaires — le Fonds de recherche du Québec (FRQ), le ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie du Québec (MEIE) et Stantec — pour leur soutien essentiel à la tenue de cet événement, organisé en collaboration avec le Conseil des Infrastructures. Merci infiniment à Michel Binette et son équipe.

Nous souhaitons également remercier chaleureusement nos animateurs et animatrices d'ateliers, Jean-Luc Martel, Katherine D'Avignon, Michel Baraër, Erik Poirier, Maude Brunet, Marcelin Joanis, Marjène Rabah, Gabriel Jobidon, Mathieu Boudreault, Robert Benoit, Hortense Montoux, Hugo Lafrance, Julie-Anne Chayer et Annie Levasseur dont la rigueur, l'énergie et la capacité à susciter des échanges stimulants ont grandement contribué à la richesse des discussions.

Un merci tout particulier à nos panélistes, Philippe Batani, Geneviève Roy, Dominic Lemarquis, Steve Chagnon, et l'animatrice, Sophie Larivière-Mantha, pour leurs témoignages inspirants et leurs perspectives éclairantes sur les défis et les solutions d'adaptation des infrastructures. Merci également à nos invité(e)s du midi, Philippe Raymond, Julie Dassylva, Erik Poirier et Katherine D'Avignon.

Ce rapport n'aurait pas vu le jour sans l'appui indispensable de nos bénévoles, Jérôme Trudel-Brais, Mathieu Laroche, Émilie Bilodeau, Narimene Midoune, Chloé Bernier, Patrick Lachapelle, Mohamed Cisse, Benz Ngwanga Bilam, Nour Youssef, Clément Blanquet Du Chayla, Fannie Leroux, Mélanie McGrory, Thomas Vrielynck, Souha Boudaya, Béatrice Turcotte, Catherine Warren et Wiem Mootamri, dont le professionnalisme et le dévouement ont assuré le bon déroulement de l'événement.

Nos sincères remerciements vont également à l'équipe d'AdapT, notamment Éric Bosco, Karla Duval, Marie Jorgeault, Gabriel Garcia-Curiel, Najmeddine Jaouadi, Philippe Verreault-Julien, Annie Levasseur et Gabrielle Beaudin pour leur soutien constant, leur collaboration et leur engagement tout au long de l'organisation. Merci également à la directrice générale de l'ÉTS, Kathy Baig, pour le mot d'ouverture et à toute l'équipe des événements et des communications de l'ÉTS, dont Louise Legault et Valérie Dubuc. Merci également à l'équipe de Jean-Alexandre D'Etcheverry du service des affaires publiques et des relations gouvernementales de l'ÉTS.

Un grand merci aussi à notre photographe, Amélie Caron, pour avoir su capturer avec sensibilité et talent les moments forts de cette journée.

Et enfin, merci à vous, participantes et participants, pour votre présence, vos réflexions et votre contribution à cette journée consacrée à l'innovation et à la résilience de nos infrastructures.