



# L'INGÉNIERIE AU CŒUR DES INFRASTRUCTURES DURABLES

POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL

UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE



MÉMOIRE DANS LE CADRE DE LA CONSULTATION  
*BÂTIR LE CANADA QUE NOUS VOULONS AVOIR EN 2050*

**INTRODUCTION**

p.2

**DES INFRASTRUCTURES POUR UNE RECHERCHE QUI BÉNÉFICIE  
À TOUS LES CANADIENS**

p.3

**RECOMMANDATIONS DE PROFESSEURES ET PROFESSEURS DE  
POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

p.4

**CONCLUSION : POUR UNE GOUVERNANCE ADAPTÉE AUX  
OBJECTIFS DE DURABILITÉ**

p.10

## INTRODUCTION

---

Par la présente, Polytechnique Montréal souhaite contribuer à la réflexion du gouvernement fédéral à l'égard des besoins en infrastructure au Canada. De tout temps, des ingénieurs et des ingénieures ont été au cœur du développement des infrastructures au pays, qu'il s'agisse d'infrastructures maritimes, de chemins de fer, d'autoroutes, de barrages, de réseaux électriques ou de télécommunications. Dans ce mémoire, nous avons choisi de donner la parole à nos professeures et professeurs provenant de plusieurs départements, experts mondialement reconnus dans leur domaine. En tant que scientifiques œuvrant dans une université à vocation scientifique et technologique, ils et elles cherchent à avoir un impact positif en assumant une responsabilité élargie sur les plans social, environnemental et économique; c'est le fondement même de l'ingénierie durable. Leurs contributions, délibérément succinctes, ont pour objectifs d'attirer l'attention des autorités sur les enjeux et opportunités propres aux infrastructures de leurs secteurs : télécommunications, cybersécurité, chimie verte, transport et mobilité, etc. Toutefois, le rôle des infrastructures comme vecteurs d'innovation pour à la fois atténuer les impacts de la crise climatique, développer les régions et communautés de même que pour créer des opportunités économiques pour l'ensemble du pays, est au cœur de leurs préoccupations, reflétant les trois objectifs visés par le document de réflexion *Bâtir le Canada que nous voulons avoir en 2050*. Le premier chapitre concernant les infrastructures de recherche et d'innovation et la conclusion portant sur les meilleures pratiques en matière de gouvernance de la durabilité, sont des contributions de services de notre institution, à savoir le Bureau de développement du campus et le Bureau du développement durable, tous deux dirigés par des professeur.e.s de carrière.

Nous tenons à remercier l'honorable Catherine McKenna, ministre de l'Infrastructure et des Collectivités, pour son invitation à participer à cette importante consultation.

### **Polytechnique en bref**

Fondée en 1873, Polytechnique Montréal est l'un des plus importants établissements d'enseignement supérieur et de recherche en génie au Canada et le premier au Québec quant à l'ampleur du financement de ses activités de recherche dans ce domaine.

- 318 professeurs et professeures
- 9 500 étudiants et étudiantes, dont
  - › 28 % de femmes
  - › 24 % d'étudiants et étudiantes aux cycles supérieurs
  - › 26 % d'étudiants et étudiantes internationaux
- 52 800 diplômés et diplômées
- Budget de 275 millions \$ dont plus de 100 millions \$ en recherche
- 60 unités de recherche (chaires, centres, instituts, etc.)
- 400 millions \$ en infrastructures de recherche
- 220 partenaires de recherche
- 200 ententes d'échanges avec des universités de partout dans le monde
- Plus de 100 technologies en valorisation

# DES INFRASTRUCTURES POUR UNE RECHERCHE QUI BÉNÉFICIE À TOUS LES CANADIENS

---

## Évaluation des besoins en infrastructures et vision à long terme

Comme souligné dans le rapport *Bâtir une société innovante*<sup>1</sup>, « l'innovation est la clé de la compétitivité, de la productivité, de la croissance économique, de la création de bons emplois et, globalement, de l'amélioration de la qualité de vie pour tous les Canadiens ». La recherche et l'innovation en sciences et en génie reposent sur l'accès à une infrastructure et des plateformes technologiques de calibre mondial. Le transfert d'innovations en produits à haute valeur ajoutée est quant à lui tributaire de la présence de pôles technologiques forts et d'entreprises ayant les capacités technologiques requises pour adopter ces innovations.

Le Canada doit accélérer la modernisation de son infrastructure de recherche qui est vieillissante et qui n'a pas suivi le rythme de développement des pays concurrents, et ce, malgré les investissements de la Fondation canadienne pour l'Innovation depuis la fin des années '90. Le portefeuille d'infrastructures de recherche en science et génie dont le Canada a besoin pour être compétitif comprend :

- Une participation conséquente à des projets internationaux d'intérêt stratégique pour le Canada (ISS, ITER, CERN, ALMA, etc.);
- Un leadership reconnu pour établir et maintenir des infrastructures internationales au Canada (TRIUMF, SNOLAB, etc.);
- Des infrastructures nationales ou régionales de calibre mondial (CLS, NEPTUNE, navires de recherche, stations nordiques, bases de données, etc.);
- Des réseaux d'infrastructures de taille moyenne (centres de microscopie, centres de prototypage, centres de calcul de haute performance ...) et des infrastructures institutionnelles.

Afin de récolter le plein potentiel des innovations développées grâce à ces infrastructures de recherche, il est essentiel que les entreprises possèdent les équipements et les connaissances requises pour en faire des procédés et produits innovants, et ainsi permettre la création d'emplois additionnels et la croissance économique. Il a souvent été observé que la présence de grappes d'innovation et de centres collaboratifs dotés d'infrastructures permettant la mise à l'échelle est un accélérateur important.

Pour être performantes, toutes ces infrastructures doivent être dotées d'un personnel hautement qualifié et être hébergées dans des bâtiments répondant à des exigences techniques avancées. Afin de tirer les plus grands bénéfices à long terme, l'infrastructure devra en particulier permettre de lutter contre les changements climatiques et accroître la résilience du Canada en favorisant les technologies misant sur l'ingénierie durable et le recyclage, et contribuant à l'objectif de carboneutralité.

Enfin, pour chaque filière technologique prioritaire pour le Canada, il est important que les infrastructures technologiques requises à chaque étape du processus d'innovation soient disponibles, allant des laboratoires de recherche (nationaux, universitaires, etc.) aux centres collaboratifs, pôles d'innovation et organisations intermédiaires de recherche (ex. Fraunhofer Institute), et aux capacités d'intégration et de production des entreprises.

---

<sup>1</sup> Bâtir une société innovante, Gouvernement du Canada (2019)

## **Amélioration de la coordination entre les propriétaires des infrastructures et les bailleurs de fonds**

Le Canada a mis en place un modèle de gestion de son portefeuille d'infrastructures de recherche impliquant des ministères, des agences gouvernementales et des entités régionales<sup>2</sup>. Les intervenants sont multiples et les responsabilités distribuées. Tout en reconnaissant les champs de compétence du gouvernement fédéral et des gouvernements provinciaux, il est important d'assurer l'accessibilité de l'infrastructure financée à l'aide de fonds publics, de partager les savoirs et d'accroître les opportunités de formation.

## **Détermination des meilleures façons de financer les infrastructures**

Le modèle de financement des infrastructures de recherche doit être adapté à leur nature et leur utilisation. Les infrastructures pour la recherche fondamentale et les preuves de concept représentent des coûts importants relativement aux moyens financiers dont disposent actuellement les chercheurs; celles-ci devront en général être financées en grande partie à l'aide de fonds publics. Dans les secteurs industriels ou technologiques où le Canada est déjà bien présent, on peut s'attendre à ce que les Centres d'innovation et les entreprises soient en mesure de se doter des infrastructures requises financées sur fonds privés ou en tirant avantage des programmes de soutien aux entreprises existants. Toutefois, le Canada devra prévoir des investissements ciblés pour développer de nouveaux secteurs technologiques à fort potentiel ou pour rattraper des retards par rapport à d'autres pays.

## **RECOMMANDATIONS DE PROFESSEURES ET PROFESSEURS DE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

---

### **Infrastructure pour la chimie verte : des laboratoires universitaires aux sites industriels**

*Abdellah Aji, professeur titulaire et directeur du Département de génie chimique*

La chimie verte est l'une des filières technologiques prioritaires où les infrastructures requises à chaque étape du processus d'innovation doivent être multipliées, allant des laboratoires de recherche (nationaux, universitaires, etc.) aux centres collaboratifs et pôles d'innovation, et aux capacités d'intégration et de production des entreprises. La chimie verte (également chimie durable ou chimie renouvelable) est une branche de la chimie qui est apparue au cours des trente dernières années pour répondre aux préoccupations liées au gaspillage des ressources, à la pollution environnementale et ses incidences climatiques ainsi qu'à l'incidence des produits chimiques sur la santé. Elle s'articule autour d'une douzaine de principes parmi lesquels on trouve notamment la prévention des déchets, la catalyse et le développement de procédés plus sûrs, propres et durables. La chimie verte est ainsi un contributeur clé à la carboneutralité. Pour livrer son vaste potentiel de bénéfices pour la société, l'économie et l'environnement, la chimie verte nécessite le déploiement d'infrastructures de pointe facilitant la mise à l'échelle de diverses technologies afin qu'elles soient fonctionnelles et économiquement viables.

Le principe de la prévention des déchets englobe plusieurs thèmes de recherche incluant la réduction de matière utilisée dans divers produits (les emballages étant un exemple) et le recyclage des matériaux entre autres. Quant au principe de la catalyse, il implique le développement des procédés utilisant moins de matière tel que dans les procédés mécano-chimiques intensifiés. L'utilisation de

---

<sup>2</sup> Optimising the operation and use of national research infrastructures, OECD Science, technology and industry, Policy papers No 91, OECD Publishing (2020)

ressources renouvelables et la réduction de la quantité d'énergie utilisée dans les procédés de fabrication sont des éléments qui contribuent à la réduction des déchets.

D'intenses travaux de recherches sont effectués au département de génie chimique de Polytechnique Montréal sur ces axes et plusieurs dizaines de professeur.e.s regroupés dans de nombreuses unités de recherche avec une bonne masse critique (centres de recherche, laboratoires, chaires de recherche, etc.) y contribuent. Les professeur.e.s et entreprises dans ce secteur sont impliqués dans la valorisation des matières résiduelles, le recyclage (tant mécanique que chimique) des plastiques et des métaux et la valorisation de la biomasse en passant par les procédés et la catalyse durables. Ces travaux de recherche peuvent utiliser comme intrant des extrants d'usines industrielles (tel que le CO<sup>2</sup> par exemple) ou de biomasse (renouvelable) et démontrer à l'échelle du laboratoire la pertinence et l'intérêt des produits ainsi développés. Cependant, leur mise à l'échelle et la démonstration de leur rentabilité et efficacité à une échelle industrielle restent souvent à prouver. Un exemple récent est un projet de grande envergure sur la capture et la valorisation du CO<sup>2</sup>. Dans ce projet, Valorisation Carbone Québec vise à accélérer, en collaboration avec Polytechnique Montréal, le développement et la démonstration de solutions commercialement viables et applicables au Québec pour capter et valoriser le CO<sup>2</sup> en carburants synthétiques.

Les écosystèmes d'innovation, particulièrement collaboratifs et à plus grande échelle, en technologies propres dont font partie les universités et les entreprises manquent cruellement de ce type d'infrastructure, ainsi que de programmes ou mécanismes qui permettent aux chercheurs et à leurs partenaires industriels d'avoir accès à de telles installations. Ceci facilitera par ailleurs le transfert de technologies vers l'industrie, l'implication directe de partenaires industriels dans les projets liés à la chimie verte ainsi que la conception des produits et procédés.

### **Recommandation**

- Investir dans le déploiement d'infrastructures (par exemple, des usines pilotes, des usines de démonstration, des vitrines technologiques, etc.), de programmes et de mécanismes permettant de tester, d'adapter et transférer les technologies liées à la chimie verte développées dans les laboratoires universitaires au milieu industriel.

### **L'approche « cycle de vie » pour évaluer la durabilité des infrastructures**

*Sophie Fallaha, directrice exécutive du Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG)*

*Réjean Samson, professeur titulaire au Département de génie chimique; directeur général du CIRAIG et de l'Institut en ingénierie durable et économie carboneutre (IIDEC)*

Dans un contexte de transition vers une économie carboneutre, une approche systémique basée sur la notion de cycle de vie est essentielle pour évaluer la durabilité des solutions requises pour combler les besoins en infrastructures. Parmi les outils à notre disposition pour guider les prises de décision, l'analyse du cycle de vie permet de quantifier les gaz à effet de serre (GES) émis tout au long du cycle de vie d'un projet d'infrastructure, de sa conception jusqu'à sa fin de vie. Plusieurs projets réalisés par le Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) pour différentes entités gouvernementales illustrent ces bénéfices. Le CIRAIG est un centre de recherche et d'expertise visant à définir et mettre en œuvre des métriques de durabilité pour soutenir la transition vers une économie net zéro. À Polytechnique, le CIRAIG rassemble une équipe de recherche composée de quatre professeur.e.s, 22 post doctorant.e.s et étudiant.e.s aux cycles supérieurs de même qu'une équipe de 12 analystes experts de la mise en œuvre des outils développés en recherche.

Ainsi, Services publics et Approvisionnement Canada (SPAC) a mandaté le CIRAIG pour développer un outil évaluant les émissions de GES des achats du gouvernement du Canada<sup>3</sup>. Celui-ci a identifié les infrastructures comme l'une des principales sources d'émissions de GES des activités gouvernementales et d'ainsi prioriser la politique de décarbonisation du gouvernement.

L'analyse du cycle de vie peut également guider le processus de conception en quantifiant et identifiant les stratégies les plus efficaces pour diminuer les émissions de GES d'un projet d'infrastructure, tant pour ce qui concerne le choix des matériaux ou que pour ce qui relève de l'opération. Des outils simplifiés, comme l'outil Gestimat<sup>4</sup> financé par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, ou des études d'analyse du cycle de vie détaillées, comme celle réalisée pour le ministère des Transports du Québec (MTQ) comparant des types de chaussées<sup>5</sup>, peuvent évaluer différents scénarios de conception. Une fois le chantier de construction mis en œuvre, un suivi détaillé des activités permet d'en mesurer et diminuer les impacts, comme le vise par exemple un outil en cours de développement pour le MTQ. Une fois en opération, l'impact environnemental d'une infrastructure est rarement nul, que ce soit par la consommation d'énergie nécessaire pour son fonctionnement ou les rénovations associées. Une mise à jour des évaluations à chaque étape majeure du cycle de vie de l'infrastructure est donc importante.

Des lignes directrices et bases de données rigoureuses sont également essentielles à l'évaluation de la performance environnementale des infrastructures. En favorisant leur transparence et libre accès, elles peuvent alors être utilisées par une variété d'acteurs pour leurs mesures de performance, et servir à l'échelle du Canada à la construction d'infrastructures qui contribuent à l'objectif de carboneutralité. L'initiative *Sobriété en carbone par l'analyse du cycle de vie*<sup>6</sup> menée par le CNRC vise à développer ce type de bases de données. La société et les pratiques évoluant constamment, ces données doivent être pérennisées et mises à jour régulièrement.

La force de l'approche cycle de vie est également son aspect multicritère et multifacette du développement durable. Tout en permettant d'aligner les décisions vers le principal objectif de carboneutralité, elle permet d'envisager d'autres impacts environnementaux comme la biodiversité ou la surexploitation des ressources, par-delà les frontières du Canada. L'évaluation de ces potentiels déplacements d'impacts est primordiale pour s'assurer de la durabilité des décisions. Enfin, l'approche cycle de vie permet d'évaluer des enjeux sociaux, que ce soit en termes d'impacts des projets, d'acceptabilité sociale, mais aussi des bénéfices pour la société.

### **Recommandation**

- Généraliser l'adoption de l'approche de l'analyse du cycle de vie à tous les projets d'infrastructures financés par le gouvernement fédéral.

<sup>3</sup> <https://ciraig.org/index.php/fr/lca-study/empreinte-environnementale-de-lapprovisionnement-chez-services-partages-canada/>

<sup>4</sup> <https://www.gestimat.ca/a-propos>

<sup>5</sup> <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1066237.pdf>

<sup>6</sup> <https://nrc.canada.ca/fr/recherche-developpement/recherche-collaboration/programmes/initiative-sobriete-carbone-lanalyse-cycle-vie>

## **Pour un développement responsable des infrastructures de transport**

*Martin Trépanier, professeur titulaire au Département de mathématiques et génie industriel; directeur du Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT)*

Les réseaux de transport et de logistique sont au cœur de l'organisation de notre société. Chaque jour, au Canada et ailleurs dans le monde, des millions de camions, trains, bateaux et avions transportent des biens nécessaires au fonctionnement de nos vies et des milliards de personnes se déplacent pour assurer le développement et le bien-être de notre civilisation. Les infrastructures de transport et de logistique sont essentielles au développement économique du Canada. Elles constituent la pierre angulaire de l'activité économique des entreprises canadiennes. En outre, le secteur des activités de transport représente directement plus de 5% du PIB et son importance ne cesse de croître. Ces infrastructures façonnent non seulement nos villes, mais également les corridors économiques canadiens.

Cependant, au Canada, le transport est un des secteurs qui produit le plus de GES, un élément central à considérer dans la lutte aux changements climatiques. Il est important de se pencher sur la question du rôle structurant des infrastructures de transport sur la quantité de GES émise par leurs utilisateurs. Ces infrastructures doivent donc être judicieusement choisies afin de ne pas générer plus de GES que le portrait actuel. Il s'agit de pouvoir améliorer les systèmes existants et de planifier les infrastructures manquantes ou déficientes en fonction des besoins des utilisateurs et de la minimisation des impacts.

Dans nos villes, les activités de transport ont des impacts non seulement sur la qualité de vie des citoyens et des citoyennes, mais également sur la santé et l'aménagement du territoire. À ce titre, les systèmes et les infrastructures de transport sont au cœur de l'inclusion sociale et de l'équité d'accès aux services. Il est donc nécessaire de compter sur des infrastructures durables dans tous les sens du terme, soit économiquement viables, à faible impact environnemental et tenant compte de la maturité sociale de la population riveraine et utilisatrice. Cette équité doit s'appliquer indirectement en considérant non seulement le transport des personnes, mais également le transport de marchandises qui est essentiel au fonctionnement de la société canadienne.

À Polytechnique Montréal, pas moins de 27 professeur.e.s conduisent des activités de recherche au sein du Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT). Cette recherche intègre les partenaires acteurs du milieu, et implique le développement de nouvelles méthodes de traitement et d'analyse des données, axées sur la recherche opérationnelle et l'intelligence numérique, tout en considérant la transition durable qui devra immanquablement survenir pour que le Canada puisse atteindre ses objectifs en matière de réduction des GES. L'importance et la qualité de ces travaux nous amènent à formuler deux recommandations dans le cadre de cette consultation.

### **Recommandations**

- Faire du domaine du transport et de la logistique un axe majeur d'investissement en infrastructures au Canada, vu son importance cruciale dans le fonctionnement de la société en général;
- Investir dans des infrastructures vertes et porteuses d'innovations, soit des systèmes de transport collectif plus performants, des installations logistiques axées sur la collaboration entre les entreprises, des systèmes de modes partagés (vélos, autopartage) et leurs équipements, et non pas seulement dans la construction d'infrastructures routières unimodales, qui représente souvent un obstacle à la durabilité des transports.

## **Fiabilité et disponibilité de l'infrastructure de télécommunications**

*Brunilde Sansò, professeure titulaire au Département de génie électrique; directrice du LORLAB (Laboratoire d'optimisation de réseaux de télécommunications) et membre du GERAD (Gestion et Recherche en Analyse de Décisions).*

En août et septembre 2018, des tornades ont laissé le nord du Manitoba sans service de télécommunications et interrompu le service cellulaire d'une partie de la région d'Ottawa. En avril 2021, une panne logicielle d'un équipement au cœur du réseau a laissé sans service cellulaire pendant une journée les abonnés d'un grand fournisseur de service, d'un bout à l'autre du Canada. En 2021, des millions de Canadiens n'ont pas encore l'Internet à haute vitesse, car ce service n'est pas viable économiquement dans leur région. Alors que le confinement occasionné par la lutte à la COVID-19 a montré qu'un accès fiable aux réseaux de télécommunications à haute vitesse est un service essentiel, la fiabilité et la disponibilité de ces services au Canada ne sont actuellement pas garanties. La situation risque de s'aggraver avec les changements climatiques, qui provoqueront des pannes, encore rares, mais qui deviendront de plus en plus fréquentes. De plus, l'utilisation croissante de la virtualisation et la programmabilité des réseaux pourront faire en sorte qu'une simple panne de logiciel affecte tout un réseau à la grandeur du pays. Par ailleurs, la dépendance de la société au bon fonctionnement des télécommunications ira en augmentant suite à l'introduction de « l'intelligence » dans toutes les infrastructures, comme par exemple le *smart-grid* ou les villes intelligentes.

Ces problèmes de fiabilité et de disponibilité des services de télécommunications deviennent trop importants pour les laisser aux simples règles de marché. Le Canada doit donc prendre des mesures préventives vigoureuses, tant techniques, qu'économiques et réglementaires, pour garantir la continuité du service en toutes circonstances.

### **Recommandations**

Dans un premier temps, il faut légiférer pour qu'un accès fiable aux services de télécommunications à haute vitesse soit reconnu comme un service essentiel pour tous les Canadiens. Il faut ensuite introduire des balises de fiabilité et de disponibilité et qu'un nouvel organisme technique, une table de consultation non partisane et/ou un élargissement des attributions du CRTC, imposent ces balises et surveillent leur utilisation. Le Canada doit également promouvoir et accélérer l'accès à toutes les avancées technologiques actuelles et à venir, tels la 5G et la 6G, les constellations satellitaires, la photonique, les réseaux quantiques, qui offriront les technologies de rechange pour pallier les défaillances et accroîtront les options technologiques disponibles en régions éloignées. Le gouvernement devrait également reconsidérer le modèle actuel selon lequel les fournisseurs d'infrastructure sont aussi des fournisseurs de services, la virtualisation permettant d'envisager un modèle avec un fournisseur d'infrastructure publique indépendant des fournisseurs de services. Ceci assurerait que les profits de location d'infrastructure soient réinvestis uniformément en achat d'infrastructure, permettrait d'établir une plus grande compétition dans l'offre des services et, avec l'imposition de contraintes de fiabilité, que les usagers d'un fournisseur puissent obtenir le service d'un autre fournisseur en cas de pannes.

Le Canada doit également profiter de son climat froid et de son hydro-électricité abondante pour attirer massivement des grands centres de données dans le nord du pays. Cela augmenterait la disponibilité de réseaux performants pour les régions éloignées, réduirait l'impact écologique des gros centres de données polluants dans le monde, tout en augmentant l'activité économique de ces régions.

Le gouvernement doit soutenir et promouvoir les équipementiers canadiens pour que le Canada soit à nouveau un acteur mondial incontournable en technologie de télécommunications. Finalement, un fonds pour la recherche indépendante et une base permanente de données techniques ouvertes devraient



être mis en place pour soutenir la recherche à long terme en fiabilité, disponibilité et durabilité de l'infrastructure de télécommunications.

En conclusion, une société prospère et inclusive passe par la résilience, la durabilité et la disponibilité de l'infrastructure de télécommunications.

## **Cybersécurité et cyberrésilience des infrastructures critiques**

*Nora Boulahia Cuppens et Frédéric Cuppens, professeurs titulaires au Département de génie informatique et génie logiciel*

*Militza Jean, professionnelle de recherche*

Pour *Bâtir le Canada que nous voulons avoir en 2050*, nous recommandons fortement une vision qui prend en compte la cybersécurité et qui renforce la cyberrésilience des infrastructures dites critiques face aux menaces cybernétiques. L'hyperconnectivité a rendu la protection des infrastructures critiques plus pertinente que jamais. Depuis la crise sanitaire, c'est même l'une des préoccupations majeures puisque les cybermenaces s'attaquent à une variété grandissante de structures : ordinateurs individuels, réseaux, internet des objets, infrastructures critiques, individus, etc. De récents incidents de rançongiciels sur des services critiques en Irlande et aux États-Unis ont alerté les autorités au point où la Commission européenne a annoncé le 23 juin dernier son intention de créer une unité conjointe d'urgence pour les cyberattaques dites « cauchemardesques »<sup>7</sup>. Ces attaques ciblent autant les entreprises privées telles que les banques ou les oléoducs que les services publics tels que les forces de police, les écoles ou les hôpitaux. Les coûts mondiaux de la cybercriminalité augmenteront de 15 % par an au cours des cinq prochaines années, pour atteindre 10 500 milliards \$US par an d'ici 2025, contre 3 000 milliards \$US en 2015<sup>8</sup>.

Le Canada n'est pas en reste et est lui aussi victime de ces types d'attaques sur ses systèmes et actifs physiques et cybernétiques stratégiques (pensons notamment aux secteurs définis dans la *Stratégie nationale sur les infrastructures essentielles*<sup>9</sup>), qui peuvent être dans l'incapacité de fonctionner ou encore détruits à la suite de ces cyberattaques. Comme le montrent les travaux que mènent plus de 35 chercheurs en matière de cybersécurité et cyberrésilience au sein de Polytechnique et en partenariat, les conséquences d'une attaque sont nombreuses et peuvent avoir un impact négatif en nuisant à la croissance et la compétitivité à long terme, en retardant la progression vers la carboneutralité, en réduisant la résilience de nos infrastructures face aux changements climatiques et en nuisant à la qualité de vie et même à la santé et la sécurité des citoyennes et des citoyens.

Le document de mobilisation sur l'Évaluation nationale des infrastructures reconnaît que les nouvelles technologies transforment « la façon dont les infrastructures fonctionnent et continueront d'influer sur la demande d'éléments d'infrastructure au cours des décennies à venir » (p. 15). Pour cette raison, nous croyons indispensable de placer la cybersécurité et la cyberrésilience au cœur même des objectifs de l'évaluation de nos besoins collectifs en matière d'infrastructures. Parce que cette évaluation entend intégrer les outils numériques dans son processus, nous croyons que cette posture est incontournable. Intégrer cette vision au cœur de l'évaluation de nos besoins en matière d'infrastructure permet non seulement d'assurer l'avenir de nos infrastructures pour les générations à venir, mais aussi place le Canada en mode proactif, et fait en sorte que la résilience de nos infrastructures soit assurée suite à des cyberattaques.

Inéluctablement il y aura des cyberattaques sur les infrastructures, et le concept de zéro-confiance doit donc faire partie de la stratégie du gouvernement. Réfléchir les infrastructures canadiennes en fonction

<sup>7</sup> <https://www.bbc.com/news/technology-57583158>

<sup>8</sup> <https://1c7fab3im83f5gqiow2qqs2k-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2021/01/Cyberwarfare-2021-Report.pdf>

<sup>9</sup> <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/rsrcs/pblctns/srtg-crtcl-nfrstrctr/index-fr.aspx>

de la cyberrésilience et en fonction de la sécurité de la chaîne d'approvisionnement, c'est s'assurer que les infrastructures mises en place puissent continuer à fonctionner et à assurer la disponibilité, l'intégrité et la confidentialité des services et outils pour lesquels elles ont été créées, et ce même en mode dégradé, lorsqu'elles sont soumises à des cyberattaques. La cyberrésilience englobe des notions de préparation (et donc de planification et d'anticipation), de réponse et d'adaptation à des incidents devenus inévitables. Pour atteindre cet objectif, les équipes de recherche de Polytechnique Montréal conçoivent des solutions innovantes et multidisciplinaires pour déployer la cyberrésilience en combinant des moyens techniques, opérationnels et organisationnels.

Au niveau technique, les concepts de base pour concevoir des systèmes cyberrésilients existent et reposent sur des architectures combinant la défense en profondeur, la diversification fonctionnelle, la défense dynamique ainsi que la dissuasion. Au niveau opérationnel, la cyberrésilience doit être intégrée dès le départ dans les plans de continuité et de reprise d'activités afin de réduire l'impact d'une cyberattaque. Pour cela, les plans de continuité et de reprise d'activité doivent être adaptés pour intégrer davantage d'anticipation et être évolutifs de manière à prendre en compte les incidents. Au niveau organisationnel, la cohérence et la cohésion de la chaîne de décision sont essentielles pour faire face efficacement aux conséquences des cyberattaques. Cependant, il est essentiel de ne pas oublier que l'ensemble des personnels est concerné et doit être formé en conséquence. À cette fin, Polytechnique a mis sur pied de nombreux programmes de formation (microprogrammes, certificats, maîtrise) sur différents volets de la cybersécurité afin de répondre à la demande croissante des entreprises et des gouvernements.

### **Recommandation**

- Intégrer la cybersécurité et la cyberrésilience des infrastructures critiques au cœur même de l'évaluation nationale des infrastructures.

## **CONCLUSION : POUR UNE GOUVERNANCE ADAPTÉE AUX OBJECTIFS DE DURABILITÉ**

---

Peu de secteurs ont un impact aussi direct sur la qualité de vie de la population que celui des infrastructures. C'est que les nouveaux projets d'infrastructure autant que les projets de maintenance de l'environnement bâti ont le pouvoir de répondre aux besoins de création de richesse, de lutte aux changements climatiques et de justice sociale à travers le pays.

Pour atteindre ces grands objectifs sociétaux en prenant en compte les intérêts de l'ensemble des parties prenantes, le modèle de gouvernance des projets d'infrastructure doit être révisé. Plus particulièrement, à l'instar de l'adoption systématique de l'approche par analyse de cycle de vie recommandée par le CIRAIQ, un examen de la durabilité de tous les projets d'infrastructure s'impose.

Par exemple, pour un projet d'infrastructure lié au traitement d'eau, il conviendrait d'analyser les coûts nivelés de l'eau (« *Levelized cost of water - LCOW* » en anglais) pour le volet économique. Cette méthode a l'avantage de ne pas se limiter au simple coût d'achat de la technologie, car elle considère également les coûts d'achats, d'opération et d'entretien. Les solutions durables pourraient alors se tailler une place plus importante dans les projets, car bien qu'elles soient parfois plus coûteuses à l'achat, elles se rentabilisent du fait de leur faible coût en entretien et en opération.

D'une façon générale, les objectifs de chaque projet d'infrastructure doivent être clairement définis et assortis d'indicateurs spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes et temporels (S.M.A.R.T.). L'atteinte

des objectifs devra être mesurée par une collecte de données en lien avec ces indicateurs et faire l'objet d'une reddition de compte. Ce processus d'évaluation continue permettra d'assurer une transformation qui respecte les valeurs et les aspirations de la population canadienne.

Il faudra, par ailleurs, adopter une stratégie d'approvisionnements responsables en systématisant l'intégration de critères de durabilité dans tous les achats. Ces derniers ont une importance capitale étant donné qu'ils touchent à l'ensemble des projets ainsi qu'à chacune de leurs phases.

Dans le même esprit, l'élaboration des appels d'offres et des appels à projets devra impliquer des experts de plusieurs disciplines ainsi que des spécialistes du développement durable pour prendre des décisions éclairées par les connaissances les plus à jour. L'aspect temporel des besoins doit également être intégré : il faut donc des solutions adaptées à des besoins à court terme ou d'urgence, pour une transition et finalement, pour des infrastructures à long terme. Pour naviguer avec agilité dans un monde en mutation, les appels d'offres seraient idéalement rédigés en indiquant la *fonction* à accomplir et en utilisant des indicateurs de performance plutôt qu'en imposant l'utilisation d'une technologie en particulier. Cette souplesse confèrera aux répondants la possibilité de proposer des solutions hybrides et optimisées, incluant diverses technologies. Ainsi, un traditionnel appel d'offres pour une chaudière électrique pourrait se transformer en un appel d'offres pour un besoin d'un système de chauffage pour un bâtiment.

En conclusion, pour gérer le parc canadien d'infrastructures de façon responsable, il importe de s'appuyer sur une vision à long terme. Cette vision doit être soutenue par les trois piliers reconnus du développement durable : les volets économiques, environnementaux et sociaux. Pour orienter les investissements en matière d'infrastructures, chaque projet devrait normalement démontrer l'atteinte d'un équilibre entre ces trois sphères. Pour ce faire, Polytechnique Montréal, avec ses expertises diverses en ingénierie durable, est prête à jouer un rôle majeur dans le développement des infrastructures durables qui seront bénéfiques à toute la collectivité.