



## Un Espace De Résilience Axé Sur La Dépendance Électrique Des Infrastructures Municipales Essentielles

Benoît Robert<sup>\*1</sup>, Emma Charmont<sup>1</sup>, Evelyne Pouliot<sup>2</sup>, and Yannick Hémond<sup>3</sup>

COMBLEMENT DU FOSSE  
[doi.org/10.25071/khgafy45](https://doi.org/10.25071/khgafy45)

### Affiliations des auteurs

<sup>1</sup>Polytechnique Montréal, département de génie industriel et de mathématiques

<sup>2</sup>Polytechnique Montréal, département des génies civil, géologique et des mines

<sup>3</sup>Université du Québec à Montréal, département de géographie

### \*Correspondence à :

Benoît Robert

[benoit.robert@polymtl.ca](mailto:benoit.robert@polymtl.ca)

**Reçu :** 19 juin 2025

**Publié :** 10 septembre 2025

**Langue reçue :** Français

© 2025 Les auteurs ou leur(s) employeur(s). Publié par le *Revue canadienne de gestion des urgences*. Cet article est en libre accès et distribué sous licence Creative Commons Attribution - Pas d'utilisation commerciale 4.0 International (CC BY-NC 4.0).

### Résumé

Cet article traite de la vulnérabilité croissante des infrastructures municipales essentielles (IME) face à leur dépendance à l'électricité, une situation exacerbée par des interdépendances complexes. Les pannes d'électricité majeures, considérées comme des risques systémiques, sont difficiles à anticiper et à contrôler. De plus, sur un territoire donné, ces pannes affectent simultanément un large éventail d'infrastructures. Par conséquent, la gestion des conséquences nécessite une gouvernance collaborative et adaptative entre toutes les parties prenantes concernées afin d'atténuer les impacts sur les populations. Dans ce contexte, le concept d'espace de résilience est introduit. Il est défini comme un cadre structuré réunissant les acteurs municipaux et l'opérateur du réseau électrique afin de renforcer la résilience individuelle et collective grâce à une coopération renforcée. L'outil central est l'image de situation commune, qui cartographie les capacités de réponse et les vulnérabilités des infrastructures, favorisant ainsi une compréhension commune et l'élaboration de stratégies adaptées. La mise en œuvre de l'espace de résilience dans la région de Montréal a démontré des avantages significatifs : une meilleure identification des secteurs vulnérables, l'adaptation des plans d'urgence municipaux et le renforcement des relations entre toutes les parties prenantes concernées. La durabilité de cette approche repose sur une gouvernance claire, un partage sécurisé des informations et un leadership neutre. Elle devient de plus en plus cruciale face aux nouveaux défis liés à la transition énergétique et au changement climatique.

**Mots-clés :** infrastructures municipales essentielles (IME), dépendance à l'électricité, gouvernance collaborative, évaluation de la vulnérabilité, énergie, gestion des urgences, stratégies d'adaptation, changement climatique.

## 1 Introduction

L'électricité est essentielle au fonctionnement des sociétés modernes, mais sa gestion devient de plus en plus complexe en raison de l'interconnexion de divers enjeux, qu'ils soient réglementaires, politiques, climatiques ou liés à la consommation. Cette complexité génère une vulnérabilité accrue et peut entraîner des interruptions de service importantes et prolongées, touchant potentiellement plusieurs municipalités. Dans les territoires urbanisés, de telles interruptions peuvent avoir des effets particulièrement nuisibles sur les infrastructures essentielles (IE), définies comme « des processus, systèmes, installations, technologies, réseaux, biens et services essentiels à la santé, à la sécurité, à la sûreté ou au bien-être économique des Canadiens et au bon fonctionnement du gouvernement » (Sécurité publique Canada, 2022). Certaines de ces infrastructures (IC) fournissent des services directs à la population, tels que l'eau potable, le traitement des eaux usées, la sécurité et les transports publics; elles sont désignées sous le terme d'infrastructures municipales essentielles (IME). Si leurs services sont interrompus, les conséquences sur la santé et la sécurité publiques sont immédiates.

Par conséquent, la dépendance des IMC à l'électricité, renforcée par des interdépendances souvent mal comprises, constitue un risque systémique difficile à évaluer sans une approche globale axée sur leur résilience. Il est donc crucial de mettre en place des stratégies communes de gestion des risques, fondées sur une collaboration étroite entre les IMC et le gestionnaire du réseau électrique. Cela nécessite la création d'un espace de résilience conçu pour structurer cette collaboration et assurer une gestion collaborative et adaptative des pannes d'électricité.

Dans cet article, nous présentons d'abord les conclusions qui nous ont conduits à considérer la collaboration comme essentielle à la gestion d'une panne d'électricité majeure. Nous développons ensuite le concept d'espace de résilience et discutons des résultats de la

mise en œuvre d'un tel espace au sein d'un groupe de municipalités québécoises. Enfin, nous abordons les défis liés au maintien à long terme de l'espace de résilience et proposons des pistes pour garantir son efficacité sur le long terme.

## 2 Gestion des risques et résilience

Les pratiques nationales et internationales en matière de gestion des risques associés aux systèmes électriques respectent les principes et lignes directrices de la norme ISO 31000:2018 sur la gestion des risques (Organisation internationale de normalisation [ISO], 2018). En règle générale, cette norme implique la mise en œuvre de trois phases.

La première phase consiste à établir le contexte de l'étude. Cela inclut la définition des objectifs et de la portée de l'étude ainsi que la caractérisation claire du système à analyser. Une équipe multidisciplinaire, disposant des compétences nécessaires pour gérer la complexité du système étudié, doit être constituée. Les critères d'analyse des risques et d'acceptabilité doivent être définis et validés, ce qui représente une étape cruciale pour la suite du processus.

La phase suivante, plus technique, consiste à évaluer les risques. Les dangers susceptibles d'affecter le système étudié sont identifiés et caractérisés, ainsi que les scénarios dans lesquels ils pourraient se matérialiser. Dans cet article, nous abordons les situations à risque liées à des interruptions de service prolongées dans les grandes zones urbaines. Par conséquent, il convient de tenir compte de risques majeurs tels que les tremblements de terre, les tempêtes de vent et la pluie verglaçante, qui peuvent affecter les centrales électriques, les lignes de transmission, les postes de distribution, etc. Il est essentiel d'identifier les mesures de protection existantes, destinées à prévenir les impacts de ces dangers ou à en atténuer les conséquences. Ces scénarios sont ensuite analysés en termes d'impacts sur les in-

frastructures, des conséquences des interruptions de service, ainsi que de leur probabilité de survenue. Les impacts sont déterminés en fonction de la durée, de la séquence des événements, des équipements touchés, etc. La fréquence des événements est également établie à partir de données historiques pertinentes, de techniques d'analyse, de simulations numériques et des avis d'experts.

L'analyse des impacts prend en compte les mesures de protection en place et la vulnérabilité des équipements concernés. Les conséquences immédiates et à long terme sont considérées. Pour le système électrique, les conséquences sont généralement évaluées en termes de pertes de production, d'électricité non fournie, ainsi que des coûts de réparation et de récupération, en fonction de la durée de l'interruption, de son étendue géographique et du temps de rétablissement. Pour les interruptions majeures, certaines études ont également quantifié les coûts directs et sociétaux, appelés « valeur de la charge perdue » (VoLL) (Morissette et al., 2024). Cet indicateur, généralement exprimé en \$/kWh ou \$/MWh, reflète l'impact économique et les désagréments subis par les utilisateurs en cas de perte d'approvisionnement électrique, en attribuant une valeur économique à la quantité d'électricité non fournie (Morissette et al., 2024). En plus des valeurs économiques, les conséquences sur un territoire sont liées aux effets domino et boule de neige. Les effets domino correspondent à des impacts en cascade affectant plusieurs infrastructures critiques (une panne d'électricité entraîne une coupure d'eau potable, etc.). Les effets boule de neige correspondent à des impacts directs sans effets domino, affectant principalement les infrastructures municipales essentielles (IME) et, par conséquent, les populations de manière directe. L'analyse de ces impacts est le sujet de cet article, comme nous le verrons ci-dessous.

Les risques sont ensuite calculés, évalués et classés, en appliquant les critères d'analyse des risques et d'acceptabilité définis et approuvés lors de l'établissement du contexte au début du projet.

La phase finale, le traitement et le contrôle des risques, vient conclure le processus. L'objectif est de mettre en œuvre des mesures de protection afin que les risques identifiés ne restent pas dans la catégorie des risques jugés inacceptables. Dans les scénarios utilisés pour évaluer les risques d'interruptions majeures de service, d'autres mesures stratégiques de contrôle des risques peuvent être envisagées à long terme, telles que le renforcement des équipements, l'ajout de nouveaux équipements, la modification des politiques de maintenance, la révision des normes de conception, etc. En outre, des stratégies de reprise sont mises en place afin de permettre un rétablissement du service le plus rapide possible. Le risque résiduel qui subsiste après la mise en place de toutes les mesures préventives et de protection est ensuite documenté.

Dans les scénarios d'interruption majeure des services, où l'on reconnaît que les défaillances sont inévitables, le concept de résilience des systèmes prend toute son importance. La résilience de ces systèmes est définie comme leur capacité à limiter l'étendue, la gravité et la durée de la dégradation des éléments à la suite d'un événement extrême, afin d'assurer un fonctionnement acceptable. Elle est obtenue en appliquant un ensemble de mesures de protection avant, pendant et après les événements extrêmes (Abdul-Nour et al., 2021 ; Komljenovic, 2021 ; Logan et al., 2022 ; Moreno Vieyra et al., 2020 ; Panteli et al., 2017). Une reprise et une adaptation rapides, plutôt qu'une simple résistance à la perturbation initiale, sont envisagées, conformément aux stratégies de gestion de ces risques. Dans ce contexte, Hydro-Québec a publié son Plan d'action 2035 afin de garantir un approvisionnement en électricité fiable dans tout le Québec, malgré une demande croissante, des aléas climatiques de plus en plus fréquents et des infrastructures vieillissantes. Le plan met en avant l'importance d'une collaboration renforcée avec tous les acteurs d'un territoire (communautés autochtones, municipalités, experts locaux, syndicats, environnementalistes et consommateurs) pour accroître la

résilience (Hydro-Québec, 2024).

Cependant, pour garantir la résilience, il est nécessaire que les populations et les organisations d'un territoire dépendant de l'électricité, y compris les IME, soient elles aussi résilientes. Elles doivent accepter que les interruptions de service soient inévitables et, surtout, mettre en place des stratégies de protection et de rétablissement compatibles avec les stratégies de résilience des systèmes électriques; ce processus nécessite une collaboration soutenue entre toutes les organisations concernées.

De plus, la dépendance à l'électricité est qualifiée de risque émergent, car elle se manifeste dans des contextes nouveaux et inhabituels pour les gestionnaires (Florin et al., 2018). La dépendance à l'électricité est également considérée comme un risque systémique (UNDRR, 2019), car de nombreux acteurs interconnectés en dépendent. Par ailleurs, les caractéristiques des risques systémiques rendent impossible la définition d'un critère d'acceptabilité unique, compte tenu du nombre important d'organisations impliquées. Ainsi, l'acceptabilité d'un risque ne peut plus être décidée par une seule organisation, mais doit faire l'objet d'une discussion et d'un consensus entre toutes les parties prenantes (Florin & Parker, 2020).

En conclusion, les parties prenantes, et en particulier les IME, au sein d'un territoire doivent accepter que des pannes électriques majeures puissent survenir et adopter une approche de gestion collaborative et adaptative. Elles doivent collaborer pour élaborer et adapter des stratégies cohérentes de protection et de rétablissement afin de faire face à de tels événements sur leur territoire, sachant que leurs conséquences et leur ampleur ne peuvent être prédites ou anticipées.

### 3 Un espace de résilience

Charmont (2025) définit la résilience d'un système comme sa capacité à soutenir une gestion collaborative et adaptative des perturba-

tions. Cette résilience repose sur trois piliers : l'acceptation, la planification et l'adaptation. Étant donné que le système étudié ici est une zone urbaine, nous proposons d'intégrer un espace de résilience qui puisse inclure toutes les infrastructures municipales essentielles (IME) afin de mettre en place une gestion collaborative et adaptative des pannes électriques majeures. Un espace de résilience correspond à un cadre structuré qui réunit les principaux acteurs (d'un territoire ou d'une organisation) pour travailler sur leur résilience individuelle et collective. Il peut structurer et soutenir la communication, la coordination et la coopération entre toutes les parties prenantes.

Le développement d'un espace de résilience repose sur une image de situation commune (ISC), un outil visant à réunir les parties prenantes autour de la problématique des pannes d'électricité (Charmont, 2025). Cet outil s'inspire principalement des travaux d'Endsley (1995) sur la conscience de la situation. L'ISC, initialement utilisé dans les domaines militaire et aéronautique, permet une prise de décision rapide et éclairée sur la base de la perception et de l'interprétation des informations détenues par plusieurs acteurs, facilitant ainsi l'anticipation et la prise de décision efficace. L'ISC est adapté à un espace de résilience qui se développe au fil du temps; il s'apparente à un tableau de bord présentant une ou plusieurs représentations des vulnérabilités partagées (Charmont, 2025). Dans le contexte des pannes d'électricité, l'ISC fournit une représentation qui intègre la vulnérabilité des IME et les conséquences sur les services qu'elles fournissent à la population. Ainsi, il permet aux parties prenantes d'identifier les enjeux critiques et de réfléchir collectivement aux solutions. L'ISC repose sur l'utilisation d'une certaine marge de manœuvre, définie comme l'intervalle de tolérance disponible avant que la perturbation n'affecte de manière significative le fonctionnement d'une IME (Charmont, 2025). Cette marge de manœuvre résulte des jugements professionnels des gestionnaires d'IME, qui intègrent la connaissance des vulnérabilités, des

mesures de protection existantes et des processus de mise en œuvre de ces mesures.

En utilisant cette marge de manœuvre, l’ISC est en mesure de renforcer chacun des trois piliers de la résilience du territoire et des IME. Cette tolérance dépend de la compréhension des vulnérabilités (pilier de l’acceptation) et inclut des mesures de planification (pilier de la planification). Ainsi, l’ISC permet aux parties prenantes de prendre en compte les enjeux soulevés et de définir des solutions communes (pilier de l’adaptation). En conséquence, elle favorise la collaboration, permettant aux différents acteurs présents sur le territoire de renforcer leur résilience face à certaines perturbations. Même avant que les piliers de la résilience ne soient consolidés, la création d’une ISC permet aux IME de développer et de consolider leurs mécanismes de communication et leurs liens, tout en clarifiant leurs rôles et responsabilités, essentiels à une mobilisation efficace lors d’une perturbation.

Un espace de résilience a été mis en place sur le territoire de la Communauté Métropolitaine de Montréal, une communauté regroupant plusieurs grandes et petites villes, dont Montréal, Longueuil, Laval et Terrebonne (Morissette et al., 2024). Le processus de mise en œuvre a commencé par la création d’une ISC pour toutes les IME concernées. Pour ce faire, les gestionnaires de chaque IME ont identifié les éléments clés dépendant de l’électricité dont leurs réseaux ont besoin pour fonctionner. Pour chaque élément, ils ont déterminé la marge de manœuvre disponible, ce qui implique de définir les impacts sur le fonctionnement de ces éléments clés, comme indiqué dans le Tableau 1. L’évaluation de l’état fonctionnel correspond à l’évaluation de la vulnérabilité de chaque élément clé.

Un code couleur a également été créé afin de faciliter la visualisation de la marge de manœuvre des différentes entités dans l’ISC. La Figure 1 présente une ISC pour une partie du territoire. Il a été intégré à des outils de cartographie permettant de prendre en compte les zones géographiques les plus critiques du

TABLE 6.1 : Description de l’état d’un élément clé.

| Couleur    | État d’un élément clé                                                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vert clair | Fonctionnement normal                                                                                                |
| Vert foncé | Fonctionnement normal avec redéploiement des activités vers un site de secours                                       |
| Jaune      | Fonctionnement dégradé avec équipements de secours                                                                   |
| Orange     | Fonctionnement dégradé avec équipements de secours nécessitant une recharge ou un ravitaillement                     |
| Bleu clair | Non fonctionnel mais sécurité maintenue par des équipements de secours                                               |
| Bleu foncé | Non fonctionnel mais sécurité maintenue par des équipements de secours nécessitant une recharge ou un ravitaillement |
| Rouge      | Non fonctionnel                                                                                                      |
| Gris       | Inconnu                                                                                                              |

Source : Morissette et al.(2024)

point de vue du public, ainsi que les populations les plus vulnérables.

L’ISC s’est avérée essentiel dans l’amélioration de la résilience collective et individuelle des Infrastructures Municipales Essentielles (IME) impliquées dans le domaine de la résilience. Cette constatation repose sur les trois piliers de la résilience. Les gestionnaires ont acquis une meilleure compréhension de leurs vulnérabilités et se sont mobilisés pour faire face à leurs vulnérabilités communes (acceptation). Les gestionnaires municipaux ont pris des mesures pour réduire certaines de ces vulnérabilités, et les plans d’action individuels liés aux pannes d’électricité majeures ont été mis à jour (planification). Enfin, des discus-

FIGURE 6.1 : Exemple d'une ISC (image de situation commune) lié à la dépendance à l'électricité dans la région de Montréal.



Source : Morissette et al. (2024)

sions ont été rapidement engagées entre le système électrique et certaines IME afin d'adapter leurs stratégies de récupération communes pour améliorer la sécurité publique (adaptation).

Afin de créer des espaces de résilience au sein des territoires couverts par cette étude, les Infrastructures Essentielles Municipales (IME) ont été sollicitées par l'intermédiaire de leurs services chargés des mesures d'urgence et de la continuité opérationnelle, lesquels ont directement piloté les analyses de dépendance au sein des services municipaux. Des accords de confidentialité des données ont été signés, notamment avec les gestionnaires du réseau électrique. Un acteur a été désigné pour assurer l'interface entre les IME et le système électrique. Cette personne a travaillé directement avec les municipalités pour recenser la dépendance des éléments clés des IME à l'électricité, puis cartographier les résultats, qui ont ensuite été transmis au service de géomatique du système électrique. Au

sein des municipalités, les espaces de résilience ont permis à tous les services municipaux de mieux comprendre leur vulnérabilité face à la dépendance à l'électricité. Les zones les plus vulnérables ont été identifiées et des plans d'action individuels ont pu être adaptés. Des mesures de protection ont également été planifiées, en collaboration avec les gestionnaires du réseau électrique. Pour chaque municipalité, le travail demandé aux responsables de chaque service municipal était relativement limité, mais la mise en commun des résultats a conduit à une prise de conscience partagée de leur vulnérabilité, ainsi qu'à l'adaptation des mesures de protection pour tous les éléments clés concernés. Ces résultats ont clairement montré l'efficacité de l'ISC dans le processus de collaboration, puisqu'il a stimulé de nombreuses discussions entre toutes les parties prenantes.

## 4 Conclusion et discussion

Dans l'ensemble, ce travail a mis en évidence l'importance de la collaboration au sein d'un territoire et la valeur d'un espace de résilience pour les Infrastructures Municipales Essentielles (IME) de ce territoire. L'étude réalisée à Montréal a clarifié les vulnérabilités des IME, a sensibilisé les parties prenantes et a ouvert la voie à une collaboration élargie afin de renforcer la résilience de l'ensemble du territoire. Aujourd'hui, la question majeure est de garantir la pérennité de cet espace, ce qui dépendra de l'engagement continu des gestionnaires impliqués, chacun ayant ses propres contraintes opérationnelles.

Une structure de gouvernance claire doit être mise en place et maintenue afin de :

- Définir des objectifs communs et gérer le partage d'informations, en tenant compte de la confidentialité, de la transparence et des rôles des IME.
- S'assurer que les actions découlant de l'analyse de l'ISC soient suivies, en accord avec les politiques des municipalités et les réalités opérationnelles. Des exercices préparatoires peuvent être réalisés pour soutenir ces actions.
- Gérer la documentation, afin de suivre l'évolution des vulnérabilités et permettre à tous les acteurs d'accéder à l'ISC.
- Maintenir l'engagement des gestionnaires grâce à des communications régulières sur les actions entreprises et une mise à jour périodique de l'ISC.

Ces actions doivent être soutenues par un leader (Morabito & Robert, 2023). En plus de tisser et de maintenir les liens entre les membres de l'espace de résilience, le rôle du leader est de créer une véritable cohérence à travers l'ensemble du territoire et d'assurer une coordination efficace de tous les acteurs, y compris les gestionnaires du système électrique. En effet, les variations de la dépen-

dance à l'électricité des départements municipaux, à court et moyen termes, doivent toujours être en phase avec les enjeux du système électrique et ses stratégies de production et de distribution. Le leader doit être neutre afin d'assurer une coordination transparente, sans conflit d'intérêt. Cependant, le gestionnaire du système électrique doit veiller à la pérennité à long terme de l'espace de résilience, afin qu'il puisse mettre à jour en continu ses mesures et plans de protection, en particulier sa liste de priorités de restauration, et l'adapter aux réalités du terrain. Cela est particulièrement vrai dans le contexte actuel de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation au changement climatique. En effet, la transition énergétique entreprise par la grande majorité des acteurs du territoire complique la gestion des sources d'énergie et du système dans son ensemble, modifiant ainsi de manière significative les vulnérabilités sur l'ensemble du territoire. Cette situation rend la collaboration entre tous les acteurs impliqués plus nécessaire que jamais.

## Références

- Abdul-Nour, G., Gauthier, F., Diallo, I., Komljenovic, D., Vaillancourt, R., & Côté, A. (2021). Development of a resilience management framework adapted to complex asset systems : Hydro-Québec research chair on asset management. 14th WCEAM Proceedings, WCEAM 2019. *Lecture notes in mechanical engineering* (pp.126–136). Springer.
- Charmont, E. (2025). *La résilience organisationnelle ou une gestion collaborative et adaptative des perturbations* [Mémoire de maîtrise non publié, Ecole Polytechnique de Montréal].
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, 37(1), 32-64.
- Florin, M.-V., & Nursimulu, A. (2018). *IRGC guidelines for the governance of systemic risks*.
- Florin, M.-V., & Parker, S. D. (2020). *Involving*

*stakeholders in the risk governance process.*

- Hydro-Québec. (2024). *Plan d'action 2023 - Vers un Québec décarboné et prospère*. <https://www.hydroquebec.com/data/a-propos/pdf/plan-action-2035.pdf>
- International Standard Organisation (ISO). (2018). *Management du risque - Lignes directrices (ISO31000:2018)*. <https://www.iso.org/fr/standard/65694.html>
- Komljenovic, D. (2021). *Risques des événements rares et extrêmes en gestion des actifs et importance de la résilience*. <https://lo.hydro.qc.ca/lo/cs.exe?func=ll&objId=171105437&objAction=browse&viewType=1>
- Logan, T. M., Aven, T., Guikema, S. D., & Flage, R. (2022). Risk science offers an integrated approach to resilience. *Nature Sustainability*, 5(9), 741-748.
- Morabito, L., & Robert, B. (2023). Success factors and lessons learned during the implementation of a cooperative space for critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*, 19(6), 527-543.
- Moreno Vieyra, R., Panteli, M., Mancarella, P., Rudnick, H., Lagos, T., Navarro-Espinosa, A., Ordoñez Pizarro, F., & Araneda, J. C. (2020). From reliability to resilience : Planning the grid against the extremes. *IEEE Power and Energy Magazine*, 18(4), 41-53.
- Morissette, M., Komljenović, D., Robert, B., Gravel, J., Benoit, N., Lebeau, S., Fortin, W., Yacoub, S., Leduc, P., & Rioux, P. (2024). Combining Asset Integrity Management and Resilience in Coping with Extreme Climate Events in Electrical Power Grids. *ASME eBooks*, 52-65.
- Panteli, M., Mancarella, P., Trakas, D. N., Kyriakides, E., & Hatziaargyriou, N. D. (2017). Metrics and quantification of operational and infrastructure resilience in power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(6), 4732-4742.
- Sécurité Publique Canada. (2022). *Stratégie nationale sur les infrastructures essentielles*.
- UNDRR. (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*. Geneva : United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://doi.org/https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>





---

Canadian Journal of  
Emergency Management

---



---

Revue canadienne de  
gestion des urgences

---