

VOLUME I

CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU QUÉBEC : S'ADAPTER POUR UN MEILLEUR AVENIR

Revue de littérature des indicateurs
et études de cas pour inspirer
les municipalités à agir

Mai 2021

HABITAT

Habitat, autrefois connu sous le nom Eco2Urb, est une société créée par essaimage universitaire qui a pour mission de mettre en application les plus récentes avancées scientifiques en écologie, en économie et en gouvernance, afin de faciliter les prises de décisions concernant l'aménagement du territoire à l'échelle locale et régionale, ou à plus grande échelle.

Les professeurs Dupras, Gonzalez et Messier ont lancé Habitat afin de répondre à une demande croissante en matière d'analyse et de gestion d'écosystèmes et de ressources naturelles. Parmi les services offerts, Habitat encadre la gestion des paysages et des ressources naturelles au moyen d'une approche holistique, notamment en utilisant des logiciels de modélisation innovants et en fournissant des recommandations ciblées qui visent à favoriser la résilience des écosystèmes par la diversité et la connectivité.

L'équipe d'Habitat dirige des laboratoires de pointe en écologie et évolution, en science forestière et en économie écologique. Elle propose des approches novatrices liées au **développement de solutions pour l'aménagement du territoire**. L'équipe met un accent particulier sur la planification à long terme et sur la prise en compte **des risques associés à différents scénarios de changements climatiques et mondiaux et au changement de l'utilisation des sols**.

FONDATION DAVID SUZUKI

Établie en 1990, la Fondation David Suzuki a pour mission de protéger l'environnement et notre qualité de vie, maintenant et pour l'avenir. Par la science, la sensibilisation et l'engagement du public, et des partenariats avec les entreprises, les gouvernements et les acteurs de la société civile, la Fondation œuvre à définir et à mettre en place des solutions permettant de vivre en équilibre avec la nature. La Fondation compte sur l'appui de 300 000 sympathisants à travers le Canada, dont près de 100 000 au Québec.

AUTEURS ET CONTRIBUTEURS DU RAPPORT

Rédaction :

Félix Landry, M. Sc. (Habitat)

Coordination & direction :

Louise Hénault-Ethier, Ph. D. Sc. Env. (Fondation David Suzuki)

Révision :

Mélanie LeBerre, M. Sc. Env DD. (Fondation David Suzuki)

Sylvain Perron, Ms Sc. Env (Fondation David Suzuki)

Citation suggérée :

Landry, F. et L. Hénault-Ethier (2021). Changements climatiques au Québec : s'adapter pour un meilleur avenir. Volume I. Revue de littérature des indicateurs et études de cas pour inspirer les municipalités à agir. Fondation David Suzuki. P39. <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/changements-climatiques-au-quebec-volume-1>

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	4
INTRODUCTION	6
1.1. Les changements climatiques et globaux	7
1.2. Risque, vulnérabilité et résilience	7
1.3. Vulnérabilités dans les villes du Québec	8
1.4. Mitigation et adaptation	9
1.5. Le processus d'adaptation	10
1.6. Le processus d'adaptation : la planification	10
1.7. Le processus d'adaptation : le suivi et l'évaluation	10
LES INDICATEURS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS GLOBAUX	11
2.1. Méthode	12
2.1. Définir les indicateurs d'adaptation	13
2.3. Recensement d'indicateurs d'adaptation aux changements climatiques	16
ÉTUDES DE CAS	23
3.1. Risque d'inondation à Annapolis Royal, Nouvelle-Écosse	25
3.2. Réduction du ruissellement par les infrastructures naturelles à Washington DC. (États-Unis)	26
3.3. Réduction de la vulnérabilité aux vagues de chaleur par l'infrastructure durable à New York (États-Unis)	27
3.4. Stratégie de gestion des espèces envahissantes de Colombie-Britannique	28
3.5. Programme de gestion des eaux pluviales du Metro Vancouver	29
3.6. Stratégie de résilience de Paris (France)	30
3.7. Plan climat 2020-2030 de la ville de Montréal	33
CONCLUSION	34
RÉFÉRENCES	36

SOMMAIRE

Afin d'atténuer les effets néfastes des changements climatiques (CC), il convient de déployer des mesures d'adaptation qui reflètent les réalités locales et les trajectoires anticipées des changements, car la mitigation à elle seule ne peut régler le problème global que posent les CC. Plus les vulnérabilités territoriales ou sociales sont grandes, plus les impacts des CC seront perceptibles. Les villes et villages du Québec devront faire face à une intensification des épisodes de chaleur accablante, à des précipitations abondantes et à des tempêtes hivernales. Déjà, certaines villes ont proposé des mesures d'adaptation intégrées à leur planification de mitigation et d'adaptation aux CC (Plan climat, Ville de Montréal, 2020). Cette planification intégrée, qui touche tant les services et activités de la ville que leur gouvernance, est un projet louable. Cependant, sa portée actuelle est limitée en raison de l'absence de littérature scientifique claire et du manque d'information accessible provenant des plans climat déjà instaurés dans d'autres régions.

Les études de cas constituent d'excellents outils pour bien comprendre comment les municipalités mettent en œuvre les mesures d'adaptation sur leur territoire et quels indicateurs ont été retenus pour leur évaluation, de façon à faire ressortir des enjeux émergents propices à l'appropriation dans d'autres localités. La présente revue de littérature propose donc sept exemples d'initiatives entreprises par des métropoles ou des régions innovantes dans des climats tempérés et pouvant offrir des pistes de réflexion pour les municipalités québécoises :

1. Annapolis Royal, Nouvelle-Écosse (Canada)
2. Washington DC. (États-Unis)
3. New York (États-Unis)
4. Colombie-Britannique (Canada)
5. Metro Vancouver, Colombie-Britannique (Canada)
6. Paris (France)
7. Montréal (Canada)

Ces cas recèlent d'exemples qui illustrent la mitigation des risques d'inondation, la réduction du ruissellement de surface, la gestion des eaux pluviales, l'amoindrissement de la vulnérabilité aux vagues de chaleur, des stratégies de gestion des espèces envahissantes et des plans de résilience plus englobants.

Cette étude a été lancée au cours de la période de consultation visant à cerner les objectifs du Plan climat Montréal 2020, à la suite du constat que l'information tirée de la littérature scientifique ou d'autres plans climat était trop peu accessible et vulgarisée pour éclairer la prise de décision politique. Toutefois, comme l'étude a été révisée après la publication du Plan climat, les renseignements de ce dernier ont pu y être intégrés et servir de base de comparaison avec les conclusions de la revue de littérature afin de formuler des suggestions d'amélioration continue pour ce plan novateur et précurseur.

C'est dans le but de recenser les connaissances disponibles sur les mesures d'adaptation en vue d'encourager la bonification des efforts d'adaptation au Québec que la présente revue de littérature a été réalisée. Parmi les leçons les plus importantes à retenir, notons le processus continu d'évaluation des vulnérabilités et des risques, de planification des mesures d'adaptation, d'implantation et de suivi des mesures. Les vulnérabilités se déclinent généralement en composantes biophysiques et socio-économiques. Pour être en mesure de suivre avec précision l'atteinte des cibles ou l'efficacité des mesures proposées dans un projet d'adaptation, il est primordial de recourir à un ensemble d'indicateurs. Les indicateurs d'efforts visent à déterminer l'efficacité de l'implantation d'une mesure (p. ex., atteinte des objectifs de plantation d'arbres sur une période donnée) et sont fréquemment utilisés lorsque la volonté d'action repose sur des principes généraux (p. ex., les arbres fournissent de l'ombre et abaissent la température ambiante grâce à l'évapotranspiration). Ils représentent également une occasion politique de démontrer un engagement manifeste à poser des actions. Cependant, un plan d'adaptation devrait comporter plusieurs indicateurs de performance qui nécessitent quant à eux une évaluation objective (pertinence à la prise de décision, robustesse analytique et mesurabilité), afin de permettre de bien évaluer l'efficacité et la progression des cibles d'adaptation.

SOMMAIRE

À la lumière de cette étude, voici les recommandations proposées :

- Publier des études de cas à partir des initiatives locales pour favoriser la communication et l'accessibilité des mesures phares.
- Développer des indicateurs appropriés pour suivre l'efficacité de chaque plan, projet, règlement ou allocation budgétaire.
- Créer un outil cartographique universel pour la priorisation, l'implantation et l'évaluation des mesures d'adaptation.
- Déployer les mesures d'adaptation en suivant un cycle d'amélioration continue qui comprend l'évaluation des vulnérabilités et des risques, la planification des mesures d'adaptation, ainsi que l'implantation et le suivi des mesures.
- Adopter des cibles, mesures et indicateurs d'adaptation concrets et comparables à ceux qui sont employés dans la lutte aux changements climatiques afin de développer des plans d'adaptation pouvant être mis en œuvre par les municipalités.

Parmi les mesures phares énumérées dans le Plan climat de la Ville de Montréal, certaines gagneraient à être améliorées, notamment en assurant leur adéquation avec les conclusions des travaux des comités d'experts qui ont débuté peu après sa publication initiale. Par exemple, il y est recommandé d'employer des indicateurs d'efforts qui ne sont pas liés à une évaluation d'efficacité de la mesure en matière d'adaptation (p. ex., plantation de 500 000 arbres), des cibles qui ne sont pas quantitatives (p. ex., diminution de la superficie des îlots de chaleur) ou des cibles qui ne sont pas harmonisées avec les objectifs nationaux ou internationaux (p. ex., 10 % du territoire protégé pour 2030 au lieu de 30 %), sans justification des contraintes de l'objectif choisi localement. Toutefois, on note également une démarche rigoureuse d'acquisition et de mise à jour des connaissances concernant les données biophysiques et socioculturelles, telles que les cartographies des zones de vulnérabilité. Celles-ci permettront à court terme d'avoir un portrait clair des enjeux territoriaux afin de poursuivre des objectifs plus concrets que la diminution de la vulnérabilité.

La présente revue de littérature vise à offrir des pistes de réflexion pour l'élaboration de plans d'adaptation au sein des municipalités québécoises. Elle constitue la première de deux études destinées à fournir un portrait à la fois scientifique et pratique des priorités en matière d'adaptation aux changements climatiques, et à présenter les mesures, cibles et indicateurs pouvant être préconisés pour favoriser l'adaptation dans les municipalités québécoises. À la suite de la revue de littérature, un second rapport ayant comme finalité la compréhension des acteurs impliqués dans le domaine de l'adaptation aux changements climatiques a été réalisé à l'aide d'entretiens semi-dirigés et d'un sondage auprès d'experts provenant des milieux scientifique et municipal, et d'organismes non gouvernementaux. Ensemble, ces deux rapports permettront de consolider le déploiement des mesures d'adaptation au Québec.

Ceci est le VOLUME I d'une série de trois.

Vous trouverez le VOLUME II à <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/changements-climatiques-au-quebec-volume-2>
et VOLUME III à <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/changements-climatiques-au-quebec-volume-3>

1

INTRODUCTION



Au Québec comme ailleurs, les changements globaux (CG) préoccupent de plus en plus la population et les gouvernements. Ceux-ci menacent le bien-être des sociétés en ébranlant les fondements de nos villes, de nos institutions et de notre économie. La nécessité d'agir face aux CG est pressante, comme en témoignent de nombreux rapports d'experts internationaux, notamment les publications du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES). Ces mêmes rapports confirment que les impacts des CG déjà ressentis de même que les impacts prévus augmenteront en fréquence et en intensité dans l'avenir. Il est donc dans l'intérêt de tous les paliers de gouvernement de prendre en compte ces futures contraintes dans l'élaboration de politiques publiques adaptées aux CG. Les efforts de lutte contre les CG, qui s'inscrivent dans la réduction des émissions de GES, ont beaucoup retenu l'attention scientifique et politique, de sorte que la plupart des pays ou des juridictions infraterritoriales ont déjà mis en œuvre des plans assortis d'objectifs de réduction bien délimités. La société a d'abord répondu à l'urgence en tentant d'endiguer le phénomène. Malheureusement, les CG sont déjà bien enclenchés dans plusieurs endroits du monde et malgré nos efforts de lutte contre ce phénomène, nous devons amorcer une phase d'adaptation de nos sociétés. Il devient donc impératif de s'intéresser à la vulnérabilité et à la résilience de nos sociétés. La notion d'« adaptation » aux CG renvoie ainsi à une volonté de limiter les risques liés aux CG, et non à la réduction du problème à la source comme l'entend la « lutte ». Bien que certaines mesures d'adaptation aient déjà été mises en place par plusieurs communautés au pays (Richardson, 2010), il reste difficile de déterminer l'efficacité des efforts entrepris. Le présent document vise à faire état de la littérature scientifique et grise (rapports d'experts, rapports gouvernementaux, études de cas, etc.) pour relever les mesures d'adaptation et les indicateurs qui leur sont associés à l'échelle du Canada et ailleurs dans le monde.

1.1. Les changements climatiques et globaux

Les termes « réchauffement climatique » et « changement climatique » sont couramment employés dans les médias. Ils désignent des phénomènes largement connus du public dont les effets découlent de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère par l'activité humaine. Le terme « changements globaux » (CG) est quant à lui plus général. Il englobe le réchauffement climatique ainsi que le dérèglement d'événements liés au climat tels que les tempêtes, les sécheresses et la fonte des glaces (IPCC, 2014; Mengel et coll., 2016). Certains de ces événements provoquent d'autres effets de façon indirecte. Par exemple, l'augmentation de la température entraîne la fonte des glaces aux pôles et la dilatation thermique de l'eau des océans, deux phénomènes propices à la crue des eaux (Mengel et coll., 2016), qui cause à son tour des inondations plus fréquentes. Un autre exemple de nature biologique est la prolifération de la tique à pattes noires (*Ixodes scapularis*), vectrice de la maladie de Lyme, dans le sud du Québec. Cette espèce, autrefois absente du territoire québécois, se propage maintenant vers le nord, en raison notamment des conditions climatiques plus

chaudes (Odgen et coll., 2014; Bouchard et coll., 2019). En conséquence, les Québécois présentent un risque accru de contracter la maladie de Lyme. La multiplication des cas de maladies à transmission vectorielle figure d'ailleurs parmi les risques les plus importants associés aux CG pour la population à l'échelle mondiale qui ont été relevés par le GIEC (IPCC, 2014). Les risques d'inondations et d'infection à la maladie de Lyme font partie des effets indirects des changements climatiques sur le bien-être humain. L'ensemble des impacts directs (dont le réchauffement climatique) et indirects sont regroupés sous l'appellation « changements globaux » (CG), de même que tous les changements environnementaux de cause anthropique. La prolifération des espèces exotiques envahissantes, l'augmentation de la pollution atmosphérique et des cours d'eau, les changements d'utilisation des terres et la perte de la biodiversité constituent d'autres phénomènes entrant dans la définition des CG.

1.2. Risque, vulnérabilité et résilience

Les CG affectent les populations de partout dans le monde. La gravité des impacts dépend toutefois de

multiples facteurs. À titre d'illustration, mentionnons les populations riveraines, qui sont plus vulnérables à la montée du niveau des eaux. Le risque s'accentue pour les populations vivant dans des lieux où les services de base (eau, santé, services d'urgence, etc.) sont manquants ou déficients, notamment dans les pays en développement. La piétre qualité de l'infrastructure bâtie (habitations, routes, etc.) et une localisation sujette aux CG ajoutent au risque. L'érosion des berges à certains endroits le long du fleuve Saint-Laurent, accélérée par la montée des eaux, la fréquence accrue des tempêtes et dans certains cas, le passage des navires, rendent les habitants des rives particulièrement vulnérables à ce phénomène (Bernatchez et Fraser, 2012; Porter, 2019). La géographie des lieux peut bien sûr influencer la gravité des impacts, mais il faut tenir compte de la vulnérabilité des populations elles-mêmes dans l'estimation des risques. En effet, le risque est plus grand chez les populations socioéconomiquement vulnérables. Les personnes âgées et moins nanties ainsi que les enfants, entre autres, n'ont pas la même capacité de réponse face aux CG que d'autres populations plus résilientes. En effet, le manque d'accès à des espaces verts urbains



ou à des services publics (centres communautaires, piscines) lors de vagues de chaleur est un facteur de risque supplémentaire dans les quartiers plus pauvres (Gago et coll., 2013). À l'autre extrémité du spectre, les plus riches possèdent généralement les moyens de se prémunir contre les vagues de chaleur en achetant des systèmes de climatisation. Cela représente d'ailleurs une solution efficace, mais un exemple d'adaptation imparfait, étant donné que le rejet d'air chaud important de ces appareils vers l'extérieur contribue à accroître l'iniquité sociale. Davantage de moyens financiers permettent à ces populations de se rétablir plus rapidement à la suite d'un sinistre comme une tempête ou une inondation. Puisque les événements extrêmes se multiplient en raison des CG, la résilience des populations plus aisées à leurs impacts est supérieure. La situation biogéophysique des populations et le statut socio-économique figurent donc parmi les facteurs à ne pas négliger lors de l'évaluation de la vulnérabilité face au risque grandissant d'événements extrêmes.

DÉFINITIONS

RISQUE : La réalisation aléatoire d'un danger dont les effets se font sentir sur la société et sur un territoire (Donze, 2007).

VULNÉRABILITÉ : La propension à favoriser les préjudices des personnes exposées à un aléa (événement d'origine naturelle ou humaine, potentiellement dangereux) (D'Ercole, 1994).

RÉSILIENCE : La capacité d'un système à conserver ses principales fonctions pendant et après une perturbation, même si le système est appelé à se réorganiser. Le concept a d'abord été utilisé en écologie (Holling, 1973), et sa définition a été étendue à de nombreux domaines. La résilience englobe en outre les notions de durabilité et de persistance (IPCC, 2014).

1.3. Vulnérabilités dans les villes du Québec

Les villes du Québec et d'ailleurs dans le monde subissent déjà les effets des changements climatiques. Selon les prévisions à long terme, la situation devrait s'aggraver. Les modèles climatiques prévoient notamment une hausse de la température moyenne estivale de 1,9 °C à 3,0 °C au sud du Québec d'ici 2050 (Ouranos, 2010). Cette hausse, combinée au phénomène d'îlot de chaleur urbain, pourrait occasionner davantage d'épisodes de chaleur extrême dans les milieux urbains. D'après une étude réalisée par la ville de New York, les vagues de chaleur par année iraient en augmentant, passant de deux (moyenne enregistrée entre 1970 et 2000) à sept en 2050 – les vagues de chaleur étant ici définies comme les périodes d'au moins trois jours consécutifs où la température atteint 32 °C (90 °F) (Rosenzweig et Solecki, 2013). Les précipitations plus abondantes prévues au Québec (Mailhot et coll., 2007) représentent également un enjeu de taille pour les villes. Les matières imperméables comme l'asphalte et le béton occupent une partie considérable de la surface des zones urbaines, ce qui fait en sorte que l'eau des précipitations ruisselle au lieu de percoler dans le sol, dans une proportion respective de 65 % et 85 % pour les zones résidentielles et les infrastructures routières. En ce qui a trait aux parcs et autres milieux ouverts, le pourcentage est inférieur, soit de 20 % (Strom et coll., 2009). L'eau de ruissellement se déverse dans le système d'égout pluvial dans le cas des municipalités dotées d'un réseau séparé, tandis qu'elles gonflent les volumes d'eaux usées dans les égouts sanitaires des municipalités dotées d'un système unitaire. Il en résulte de plus grands volumes à traiter dans les usines de traitement des eaux usées (consommation d'énergie, d'intrants chimiques, coûts, etc.) avant le déversement dans les cours d'eau. Or ce système, qui était prévu pour gérer la majorité des événements de pluie à l'époque de sa construction, montre déjà des

signes de surcharge régulière en période de précipitations intenses. Les conséquences liées à un nombre accru de surverses d'égout (rejet d'eau usée non traitée vers les milieux naturels) pourraient comprendre une augmentation de la pollution des cours d'eau, des inondations et des interruptions des systèmes de transport (Ouranos, 2010). Ces impacts sont davantage propres aux précipitations estivales. Cependant, les tempêtes hivernales présentent aussi un fort risque de perturbation pour les villes. Les événements de verglas, comme la tempête de 1998, montrent que les tempêtes hivernales peuvent causer des dommages profonds et coûteux aux infrastructures et communautés québécoises. Cet événement a en effet coûté la vie à 35 personnes, en plus de priver une partie du Québec d'électricité pendant plusieurs jours et d'engendrer entre un et trois milliards de dollars de dommages matériels (Environnement Canada, 2017; Statistique Canada, 2004). Les épisodes de précipitations liquides et les redoux hivernaux étant susceptibles d'augmenter en fréquence avec le temps (Ouranos, 2010; Bresson et coll., 2017), ces nouvelles conditions climatiques posent un défi d'adaptation majeur pour les villes. **Les épisodes de chaleur accablante, les précipitations abondantes et les tempêtes hivernales représentent trois des grands défis d'adaptation auxquels devront faire face les villes québécoises.** Ces facteurs figurent d'ailleurs parmi les six vulnérabilités qui orientent le plan d'adaptation aux changements climatiques de la Ville de Montréal, les trois autres étant les sécheresses, les crues et l'augmentation de la température moyenne (Ville de Montréal, 2015). La métropole poursuit les engagements mentionnés dans son Plan climat (2020) en bonifiant l'analyse de vulnérabilité précédemment réalisée dans le cadre du plan de 2015. De plus, elle souhaite modifier la réglementation d'urbanisme afin de mieux tenir compte de l'intensité, de la fréquence et de la durée croissantes de certaines perturbations climatiques sur son territoire, telles que les pluies abondantes, les vagues de chaleur et les crues¹.

1.4. Mitigation et adaptation

Il y a de nombreuses manières d'envisager les CG et les risques qui leur sont associés. La plupart des initiatives de réponse aux CG mises en place partout dans le monde se classent toutefois dans deux grandes catégories abordant chacune un aspect différent des CG : la lutte (aussi appelée mitigation) et l'adaptation (Larsen et coll., 2019). **La lutte consiste à diminuer le risque associé aux CG en misant directement sur les causes du phénomène.** Certains gouvernements tentent de réduire les émissions de gaz carbonique (CO₂) et des autres gaz à effet de serre (GES) produits à l'intérieur du pays. La mesure prise par le gouvernement du Québec est d'ailleurs de réduire ses émissions de 37,5 % d'ici 2030 pour atteindre les niveaux de 1990 (MELCC, 2019). Cette cible s'inscrit dans l'objectif du gouvernement du Québec de respecter les engagements du protocole de Paris (MELCC, 2019). Dans le Plan climat de la Ville de Montréal, un objectif plus ambitieux de réduction des GES a été adopté, soit une cible de réduction de 55 % pour la collectivité et des activités municipales. Ces cibles de réduction des GES s'attaquent directement à la cause du réchauffement climatique, ce qui atténue ultimement les risques environnementaux qui lui sont associés. Cependant, bien que la lutte soit essentielle pour assurer le maintien de conditions environnementales viables à long terme, les impacts des changements climatiques sont déjà présents. D'autres mesures doivent donc être entreprises pour diminuer leurs effets à court et à moyen terme.

La science des CG fournit un éclairage sur les risques environnementaux éventuels. Ces connaissances de plus en plus complètes permettent d'anticiper ces risques. Les actions menées en fonction de ces contraintes futures représentent l'adaptation aux impacts des CG. **Le GIEC définit l'adaptation aux changements climatiques comme suit : « [L'adaptation] est le processus d'ajustement au**

climat actuel ou anticipé ainsi qu'à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation cherche à modérer ou éviter les dommages, ou à tirer profit des occasions favorables. » (IPCC, 2014, traduction libre de l'anglais)

En d'autres termes, l'adaptation aux CG ne consiste pas à agir sur la cause (à l'instar de la mitigation), mais bien à réduire l'effet néfaste des symptômes sur les systèmes humains et/ou naturels et à augmenter la résilience de ces systèmes face aux répercussions futures des CG. À titre de rappel, la résilience correspond dans ce contexte à la capacité d'un système à conserver ses principales fonctions pendant et après une perturbation, même si le système est appelé à se réorganiser (IPCC 2014). Ainsi, la réduction des émissions de GES ne constitue pas une mesure d'adaptation, mais bien de mitigation. À l'inverse, la protection des milieux humides dans l'optique de réduire l'impact des inondations qui deviendront plus fréquentes avec les CG constitue une mesure d'adaptation; cette mesure permettrait par le fait même d'augmenter la résilience d'une zone habitée adjacente face aux inondations.

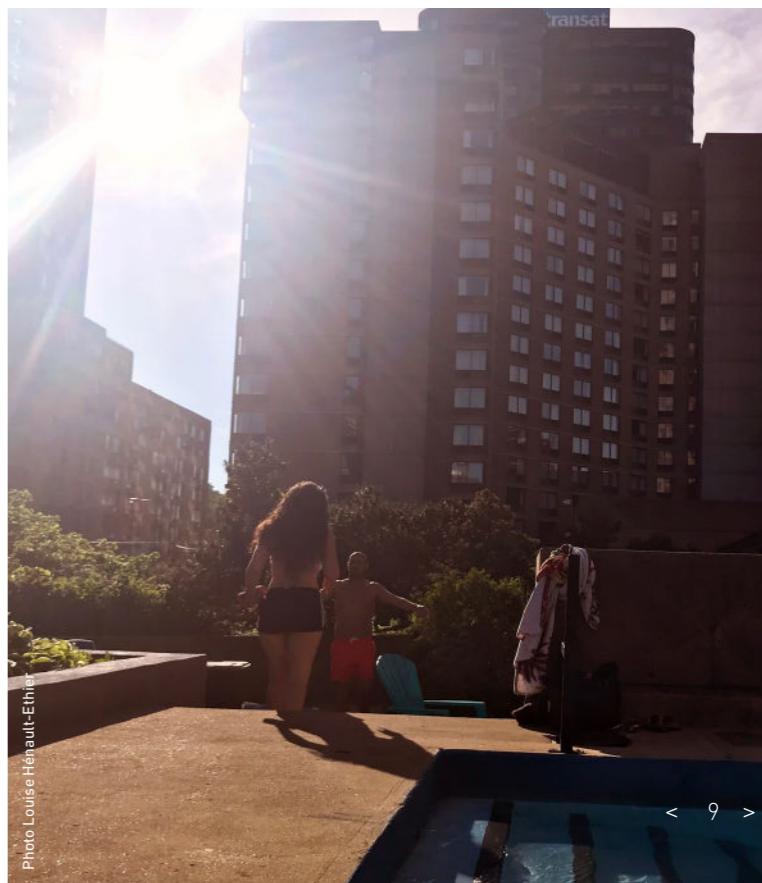


Photo Louise Héault-Ethier

1. Remarque : la présente étude a été réalisée avant la sortie du Plan climat de Montréal 2020. Toutefois, lors de la révision du présent document, il a été possible d'intégrer certains renseignements provenant du Plan climat, car celui-ci était alors disponible.

1.5. Le processus d'adaptation

Les mesures d'adaptation sont les actions entreprises par un acteur (p. ex., municipalité et province) pour réduire les impacts anticipés des CG sur le bien-être de sa population. La mise en place de ces mesures est un processus intersectoriel relevant de la collaboration entre les experts, les décideurs et la population générale. Les étapes de mise en place sont le résultat d'une analyse des risques et des vulnérabilités face aux événements extrêmes, de la création d'un plan d'action, de l'application d'une mesure d'adaptation appropriée à la situation et du suivi de l'efficacité de cette dernière. La figure 2 illustre les étapes relatives à l'élaboration d'une stratégie d'adaptation tel qu'elle est présentée par l'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Ce cadre conceptuel montre une progression d'étapes générales qui pourraient être reproduites dans tout projet d'adaptation. Les sections suivantes traitent des quatre étapes. Toutefois, l'accent est mis sur la planification de plans de suivi relatifs à l'efficacité des actions d'adaptation au moyen des indicateurs et cibles, sujet de ce document.

1.5.1 La planification

La première étape d'une stratégie d'adaptation est de constater une vulnérabilité face à un impact des CG d'ordre biophysique (p. ex., habitations en zone inondable) ou socio-économique (p. ex., incapacité d'une population à reconstruire en cas de sinistre). L'évaluation de la vulnérabilité peut passer par divers mécanismes (comités d'experts, consultations publiques, etc.) et est nécessaire à l'élaboration d'une stratégie d'adaptation efficace dans cette situation particulière. Les étapes suivantes consistent à planifier la mesure d'adaptation et à implanter la mesure sélectionnée en réponse à la vulnérabilité. Ces trois premières étapes, bien qu'essentielles au processus, ne sont pas

décris de façon exhaustive, car ce document porte davantage sur la dernière étape, soit le suivi.

1.5.2 Le suivi et l'évaluation

La quatrième étape présentée dans la figure précédente est le suivi et l'évaluation de la mesure d'adaptation. Il s'agit d'une étape cruciale dans le processus, car elle permet de déterminer les effets réels de la mesure d'adaptation, ceux-ci ayant seulement été prévus lors des étapes de planification. **Le suivi de la performance**

de la mesure d'adaptation permet de déterminer si ses objectifs ont été remplis. Il est ainsi possible de réajuster le tir au besoin et de partager les résultats avec d'autres communautés si la mesure se révèle efficace, ou au contraire, d'éviter de futures maladaptations (dans le cas où elle n'augmenterait pas la résilience face aux CG). **Cependant, pour pouvoir suivre avec précision l'efficacité d'un projet d'adaptation, il est primordial de se doter d'un ensemble d'indicateurs propres à la mesure.**

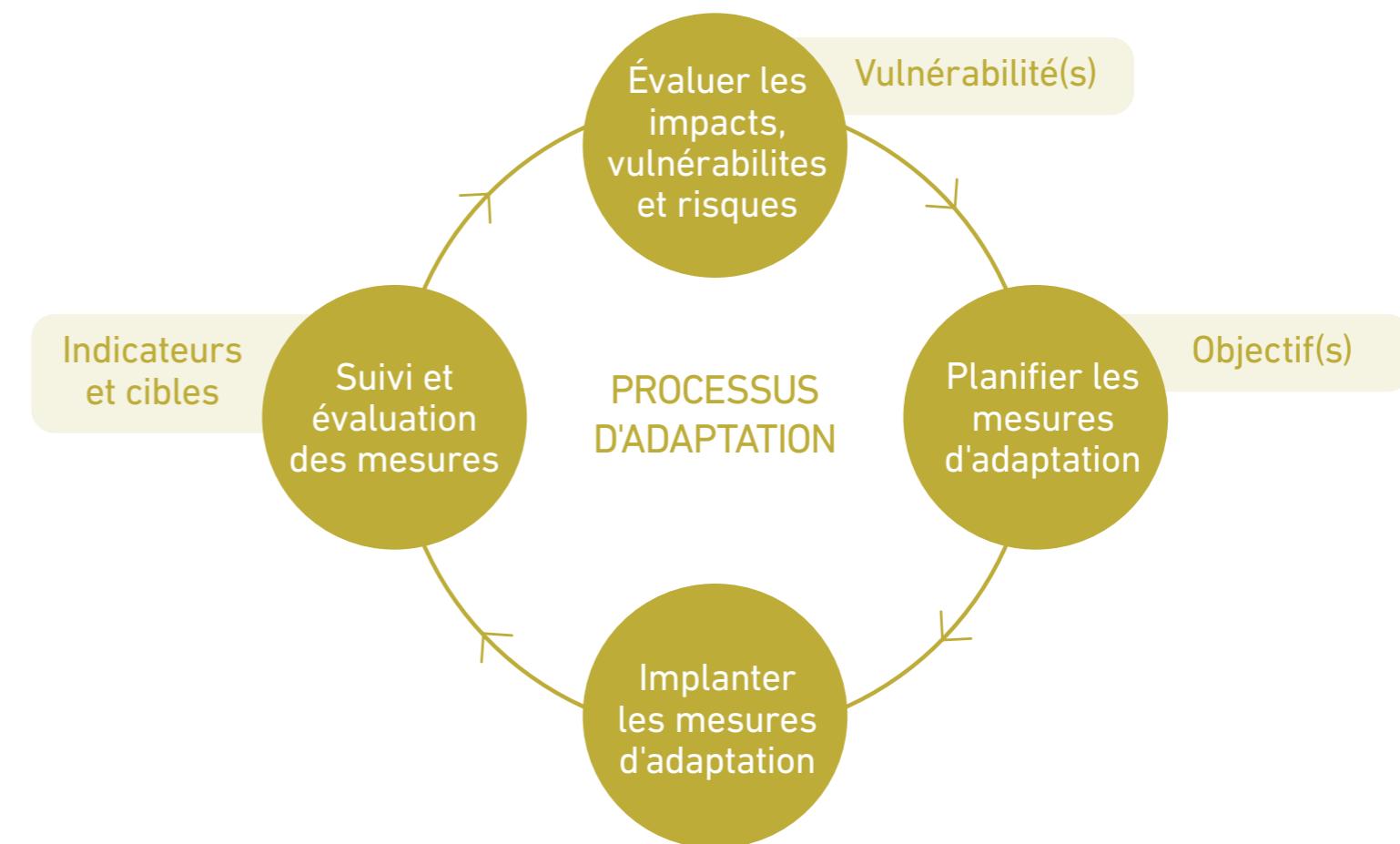


Figure 1. Étapes du processus d'adaptation aux changements climatiques. Tiré, adapté et traduit de UNFCCC (2020). Les cercles verts représentent les actions à réaliser dans la mise en place d'une mesure d'adaptation.

2

LES INDICATEURS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS GLOBAUX





2.1. Méthode

Cette revue de littérature visant à soulever les vulnérabilités, mesures et indicateurs dans le contexte de l'adaptation aux CC, les littératures grises et scientifiques ont été prises en compte. Les rapports d'experts, les rapports gouvernementaux et les études de cas (littérature grise) couvrent généralement un large spectre allant de la planification stratégique à l'efficacité de la mesure d'adaptation. Les études scientifiques, tout aussi pertinentes, s'attardent le plus souvent à un aspect spécifique du processus. Elles revêtent un intérêt particulier dans l'évaluation de l'efficacité ou de la pertinence des indicateurs. La méthode décrite ici s'applique autant au texte de la revue de littérature qu'au tableau récapitulatif des indicateurs.

Dans le cadre de la méthode employée, la littérature pertinente a donc comme point de départ les rapports de grands organismes internationaux ou nationaux, tels que le GIEC ou le gouvernement du Canada respectivement. Les références citées dans ces rapports,

qui renvoient souvent à d'autres rapports réalisés par des gouvernements locaux, sont ensuite utilisées pour poursuivre la revue. Enfin, sont relevées les études de cas (menées par exemple par les municipalités) faisant parfois partie de stratégies d'adaptation régionales ainsi que les études scientifiques sur lesquelles ces mesures sont basées. Cette méthode, nommée « boule de neige », est souvent suivie dans les revues de littérature scientifique. Elle permet de ratisser efficacement une vaste littérature pour en extraire les éléments pertinents quant à l'objectif.

Chaque texte doit d'abord faire l'objet d'une évaluation avant d'être intégré à la revue de littérature pour s'assurer de sa pertinence. La liste des critères utilisés figure au tableau 1. Le degré de correspondance avec les critères est bien sûr suggestif et repose sur le jugement du lecteur. Cependant, une attention particulière a été portée dans le choix des textes afin d'assurer la plus grande neutralité possible.

CRITÈRE DÉCISIONNEL		EXEMPLE POSITIF
Applicabilité à la situation Québécoise	Intégré si la situation décrite dans le document peut s'appliquer au Québec	Rapports produits par le gouvernement du Québec
Année de publication	Davantage de poids accordé aux textes récents	La version la plus récente des rapports du GIEC sera choisie
Citation dans un autre rapport	Davantage de poids accordé aux textes cités ailleurs	Un rapport gouvernemental cité dans un rapport du GIEC
Base scientifique solide	Intégré si le texte s'appuie sur des bases scientifiques	Une étude de cas citant des articles scientifiques pour justifier ses indicateurs

Tableau 1 :
Critères décisionnels utilisés pour la sélection des études intégrées dans la présente revue de littérature

2.1. Définir les indicateurs d'adaptation

Les indicateurs sont des éléments mesurables rendant compte de l'état d'une situation (Klopp et Petretta, 2017). Ils servent entre autres à : évaluer certaines conditions dans le temps ou l'espace (p. ex., niveau de l'eau sur un territoire, depuis 1970); à informer le public et les décideurs de l'état d'une situation; à sensibiliser la population; et à favoriser la communication (Holden, 2006; Moreno Pires et coll., 2014). Dans le cas de l'adaptation aux CG, les indicateurs jouent un important rôle de suivi de l'efficacité des mesures d'adaptation.

Divers types d'indicateurs peuvent être utilisés à chaque étape du processus d'adaptation, dès l'évaluation des vulnérabilités. Cependant, comme ce document vise à

relever des possibilités dans l'évaluation de l'efficacité des mesures d'adaptation, il s'attardera sur deux d'entre eux : les indicateurs d'effort et de performance. **Les indicateurs d'effort visent à suivre le déroulement de l'implantation d'une mesure d'adaptation. Les indicateurs de performance visent quant à eux à déterminer l'efficacité de la mesure après sa mise en œuvre.** Par exemple, une ville qui souhaite planter 100 000 arbres sur cinq ans pour réduire l'effet des îlots de chaleur urbains pourrait mesurer le nombre d'arbres effectivement plantés chaque année (indicateur d'efforts) et la différence de température engendrée par la plantation avant et après l'application de la mesure (indicateur de

performance). Cette situation est résumée à la figure 2. Dans les deux cas, ces indicateurs s'avèrent essentiels à la rétroaction sur les actions entreprises, car ils permettent de répondre à deux questions distinctes :

- L'implantation de la mesure d'adaptation se déroule-t-elle comme prévu?
- Les résultats obtenus correspondent-ils aux résultats escomptés?

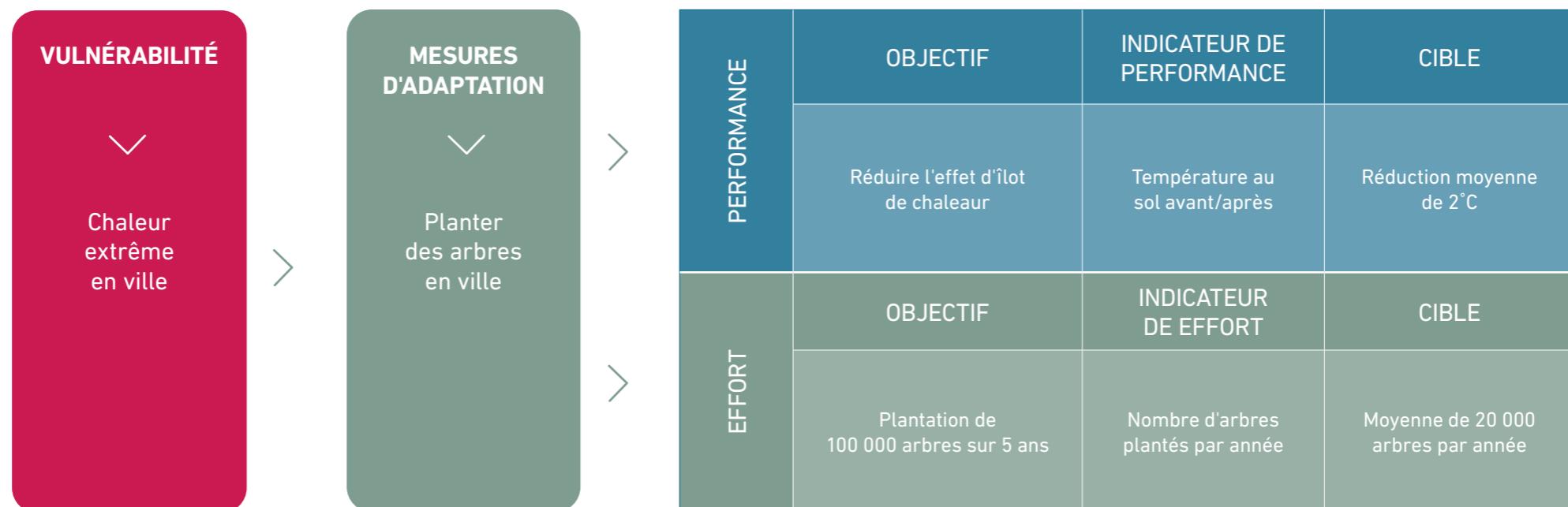


Figure 2 : Distinction entre indicateurs d'effort et indicateurs de performance dans le processus d'adaptation. Exemple hypothétique.

Les indicateurs, peu importe leur type, comportent un biais d'interprétation inhérent. Ils sont par définition une mesure unique du phénomène complexe qu'ils résument (p. ex., l'adaptation d'une communauté aux CG) (Niemeijer, 2002). L'utilisation de plusieurs indicateurs

simultanément pourrait permettre de rendre compte de phénomènes plus complexes. Par exemple, le nombre de maisons en zone côtière sinistrées après une tempête ne rend pas compte du nombre de personnes

déplacées, de la valeur économique des biens perdus ou de l'état d'endommagement de la berge. Mesurer tous ces facteurs plutôt qu'un seul procurera une meilleure compréhension de la situation dans son ensemble.

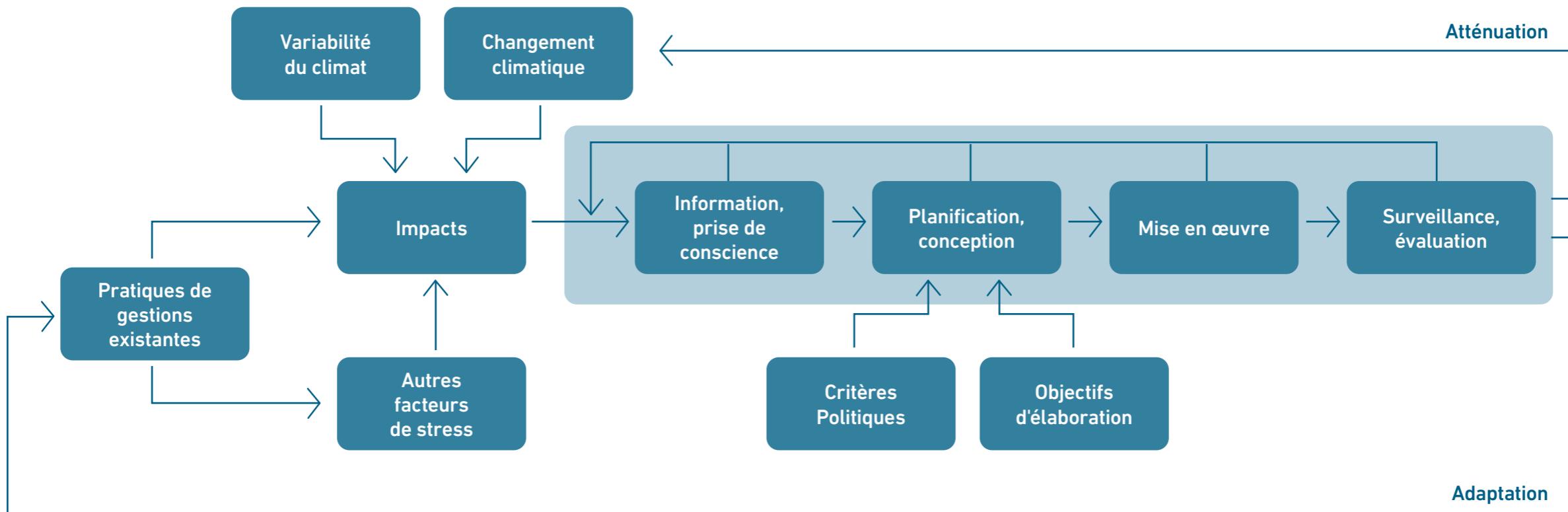
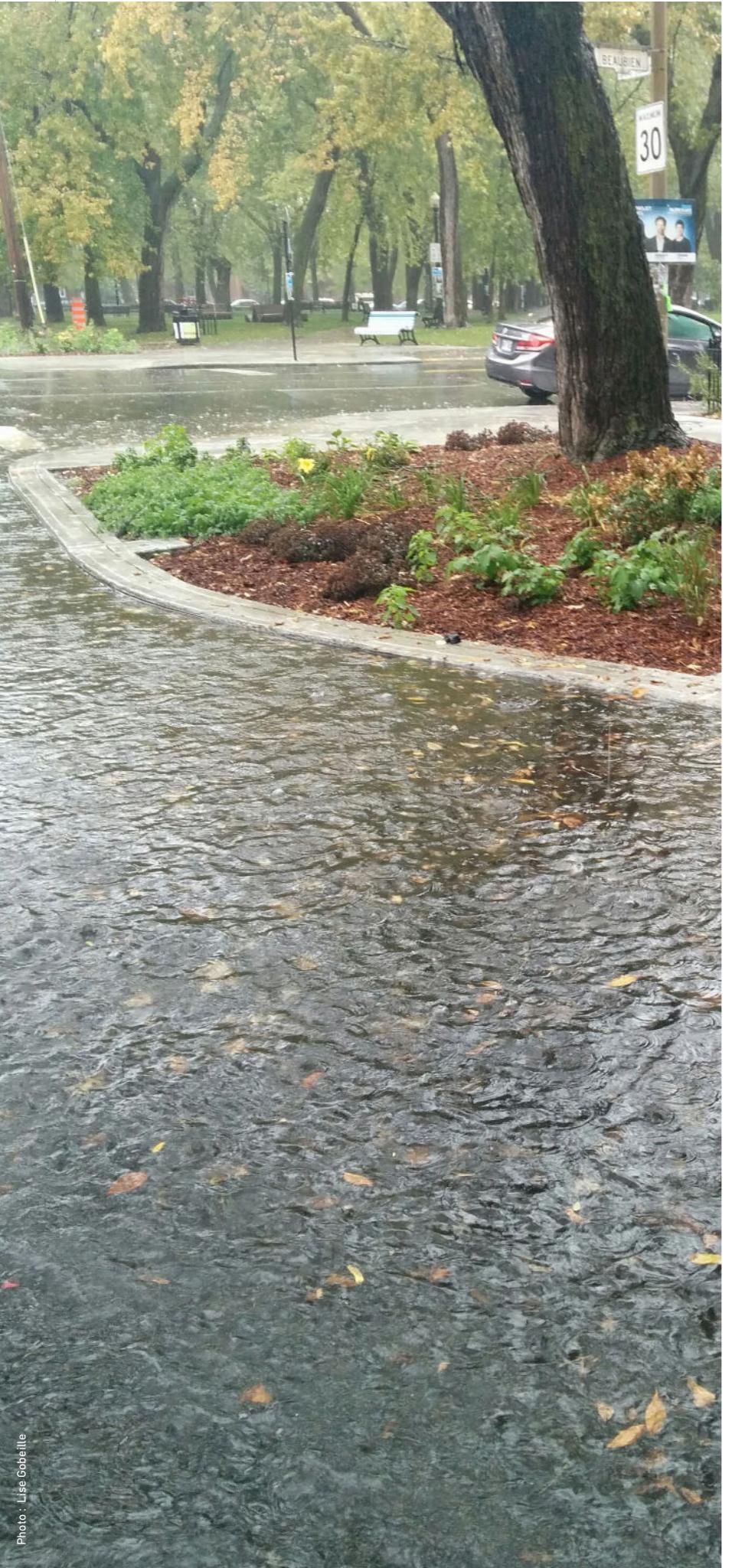


Figure 3 : Cadre conceptuel indiquant les étapes à suivre pour planifier l'adaptation au changement et à la variabilité climatique (inspiré de Lemmen et coll., 2007). Les quatre étapes de ce processus d'adaptation (zone grisée) suggérée par le gouvernement du Canada sont similaires aux étapes suggérées par l'UNFCCC de la figure 2.



Les indicateurs de performance des mesures d'adaptation aux CG doivent respecter plusieurs critères avant d'être jugés acceptables, notamment la pertinence à la prise de décision, la robustesse analytique et la mesurabilité. Ces trois catégories découlent d'une étude réalisée pour la ville de New York par Jacob et coll. (2010) (voir encadré 1). Il est très difficile de faire en sorte qu'un indicateur respecte tous ces critères.

Cependant, viser à en incorporer le plus possible devrait assurer la sélection d'indicateurs de bonne qualité. **Les indicateurs d'effort doivent quant à eux demeurer mesurables et pertinents à la prise de décision, mais le critère de robustesse scientifique est de moindre importance.** En effet, l'indicateur d'effort est généralement lié à des variables ne dépendant pas de facteurs naturels ou socio-économiques complexes.

ENCADRÉ 1 - CRITÈRES D'ÉVALUATION DES INDICATEURS (JABOB ET COLL., 2010)

Pertinence à la prise de décision : Les indicateurs doivent fournir une image représentative des conditions actuelles pour décrire un état de base (*baseline*), et rendre compte efficacement des changements à venir. Ils doivent être faciles à interpréter et à intégrer à des échelles spatiales et/ou temporelles pertinentes pour les acteurs.

Analytiquement robustes : Les indicateurs doivent posséder une base scientifique et technique solide, reposer sur des standards locaux, régionaux et internationaux, et être intégrables dans des modèles biophysiques et socio-économiques.

Mesurables : Les indicateurs doivent être basés sur des données fiables, en quantité suffisante pour évaluer des tendances, facilement disponibles et régulièrement mis à jour.

Exemple 1 : Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020 – Mesures d'adaptation aux pluies abondantes – Arrondissement de Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce. (Ville de Montréal, 2015, p. 100)

Afin de limiter le ruissellement des eaux de pluie, l'arrondissement de Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce s'engage à « [p]rivilégier l'emploi de revêtements perméables (asphalte poreux, béton poreux, pavés en béton et systèmes alvéolaires en béton ou plastique) dans les projets municipaux ». L'indicateur relatif à cette mesure est la surface de revêtement perméable installé (en m²). Cet indicateur est facilement mesurable lors de la réalisation de chaque projet. À plus long terme, il permettra de suivre la superficie de revêtement perméable appliquée à l'arrondissement complet. Cela

en fait un indicateur d'effort utile. Par contre, comme il s'agit d'un indicateur d'effort, il ne permet pas de juger de l'efficacité de la mesure. Un indicateur de performance devrait être associé à cette mesure de manière à pallier cette lacune. Le nombre de surcharges du réseau d'égout pluvial à l'échelle de l'arrondissement pourrait rendre compte de l'efficacité de la mesure. Des dispositifs de suivi du débit de ruissellement à proximité des nouvelles installations pourraient permettre d'en déterminer l'efficacité à une échelle plus fine.



Exemple 2 : Réduction du ruissellement – Installation de fosses d'arbres biorétentrices et d'asphalte perméable sur Elm Drive – Toronto.

L'organisme Credit Valley Conservation, en collaboration avec la ville de Toronto, propose des mesures d'adaptation favorisant le développement de routes à « faible impact » (Credit Valley Conservation, 2014). L'un des projets réalisés est l'installation d'asphalte perméable et de fosses d'arbres en béton capables de retenir la sédimentation et le lessivage de certains polluants sur certains axes routiers. Le projet réalisé sur l'avenue Elm Drive comporte deux indicateurs de performance concernant le ruissellement : le volume d'eau parvenant du projet à l'égout et la qualité de cette eau rejetée. Ces deux indicateurs sont robustes (directement liés

au ruissellement et à ses caractéristiques pertinentes) et mesurables (à l'aide d'équipements sur place ou de prélèvements ponctuels). Une réduction de 85 % à 93 % des solides en suspension dans l'eau de ruissellement et de 90 % de la charge sur le réseau pluvial a été observée. De plus, les indicateurs permettent d'établir un état de la situation avant et après l'application de la mesure d'adaptation. À terme, cela permet aux décideurs de déterminer si la mesure est suffisamment efficace pour poursuivre le projet ailleurs. Les deux indicateurs de suivi choisis représentent donc de bonnes options selon les critères énoncés précédemment.

2.3. Recensement d'indicateurs d'adaptation aux changements climatiques

Une liste d'indicateurs d'adaptation aux changements climatiques a été recensée afin de dégager leur mesures d'efficacité ou de suivi (voir Tableau 2). Ces mesures ont été mises en place ou suggérées par divers organismes : municipalités, experts, groupes paragouvernementaux, chercheurs, etc. Précisons que par souci de concision, ce travail de recensement d'indicateurs n'est pas exhaustif. Le travail de collecte a par ailleurs débuté au printemps 2020 et s'est achevé en septembre de la même année. Ainsi, les indicateurs propres au plan climat de Montréal n'y sont pas présentés.

Un indicateur est utile pour suivre l'évolution d'une action d'adaptation et n'est pas nécessairement significatif seul. Par conséquent, le tableau suivant intègre à la fois l'action et l'indicateur. Il est à noter que dans certains cas, la référence citée décrit une situation de façon qualitative au lieu d'exprimer clairement des objectifs et

des mesures d'adaptation. L'information présentée dans le tableau a donc dû être remaniée selon le jugement de l'auteur pour des besoins de concision et de classification. Le tableau est par ailleurs divisé en trois thématiques, soit écologique, physique et socioéconomique, qui sont elles-mêmes sous-divisées selon qu'il s'agit d'indicateurs d'effort ou de performance.

Le choix d'un indicateur dépend directement de la mesure et de l'objectif d'adaptation. C'est pourquoi la majorité des indicateurs appartiennent au type « performance » : ils ont été sélectionnés par le décideur parce qu'ils permettent d'évaluer l'atteinte de l'objectif. Puisque l'objectif final de toutes les mesures d'adaptation est, à terme, de maintenir le bien-être des populations pendant ou après une perturbation, les mesures et objectifs qui visent davantage le suivi de l'implantation de la mesure (et non un effet sur un facteur affectant le bien-être) seront classés parmi les indicateurs

d'effort. Par exemple, la mesure « planter des arbres » visant l'objectif « augmenter la surface de canopée » est mesurée par l'indicateur d'effort « proportion de la surface couverte par la canopée ». La même mesure visant cette fois l'objectif de « diminution des cas de maladies respiratoires » est mesurée par l'indicateur de performance « nombre de cas ».

Le tableau est structuré comme suit :

- **Catégorie de mesure :** Pour classer la mesure d'adaptation dans trois grandes catégories :
 1. Écologique, si la mesure concerne principalement des enjeux écologiques.
 2. Physique, si la mesure concerne principalement des enjeux physiques ou biophysiques.
 3. Socioéconomique, si la mesure concerne principalement des enjeux sociaux ou économiques.

- Vulnérabilité** : La vulnérabilité relevée à laquelle la mesure répond (p. ex., les inondations).
- Objectif** : L'objectif de la mesure (p. ex., réduire l'occurrence des inondations).
- Mesure** : La mesure, l'action d'adaptation (p. ex., limiter les permis de construction dans les zones inondables).
- Mesure mise en place** : Cette mesure a-t-elle déjà été implantée dans une communauté? Dans la négative, il s'agit généralement d'une mesure suggérée. La présence d'un point d'interrogation (?) signifie que la mesure a peut-être été mise en place, mais que la littérature ne le confirme pas (ce qui est souvent le cas des mesures suggérées dans les rapports internationaux).

- Indicateur** : L'indicateur mesuré pour évaluer l'efficacité de l'implantation ou de la performance de la mesure.
- Type d'indicateur** : Effort ou Performance
- Indicateur en usage** : Cet indicateur a-t-il déjà été implanté dans une communauté? Dans la négative, il s'agit généralement d'un indicateur suggéré. La présence d'un point d'interrogation (?) signifie que l'indicateur a peut-être été mis en place, mais que la littérature ne le confirme pas (ce qui est souvent le cas des indicateurs suggérés dans les rapports internationaux).
- Référence** : Document de référence duquel la mesure ou l'indicateur a été tiré (voir la section « Liste des références »).

Il est également à noter que les références citées au tableau concernent la proposition d'utilisation d'un indicateur (ce qui est généralement le cas pour les rapports des organismes internationaux) ou d'une étude de cas. Peu d'articles scientifiques du type « revu par les pairs » traitent d'études de cas précises, d'où le fait que peu de documents de ce type sont cités au tableau. Les indicateurs cités au tableau sont donc soit déjà implantés pour le suivi d'une mesure quelque part dans le monde (l'accent étant mis sur le Québec et le Canada), soit suggérés par un grand organisme impliqué dans l'adaptation. Ainsi, il est fréquent qu'un indicateur se trouve cité sans préciser s'il est actuellement utilisé, et dans quelle ville il le serait.

TABLEAU 2 : Exemples d'indicateurs écologiques rattachés aux mesures d'adaptation recensées dans la littérature. Les indicateurs sont catégorisés selon l'indicateur d'effort et sont structurés en fonction de la vulnérabilité visée par la mesure d'adaptation proposée.

VULNÉRABILITÉ	OBJECTIF	MESURE	MESURE EN PLACE?	INDICATEUR	INDICATEUR EN USAGE?	RÉFÉRENCE
CHALEUR	Réduire la température ambiante	Augmenter la couverture de canopée urbaine	Oui, plusieurs villes, dont Montréal	Proportion de la surface couverte par la canopée	Oui, Montréal	ND-GAIN, 2017; Ville de Montréal, 2011
ÉROSION DES BERGES	Diminuer l'érosion des berges des cours d'eau	Plantation de bandes riveraines ²	?	Nombre de km de bandes riveraines plantées	?	Hamill et Dekens, 2014
FORÊT URBAINE	Augmenter le remplacement des arbres mourants par une variété d'espèces	Augmenter la diversité	Oui, Edmonton	Arbres perdus/arbres plantés	Oui	Richardson 2010
PRODUCTION DE BIENS ALIMENTAIRES	Réduire le risque de pénurie alimentaire	Suivi des changements de périodes agrophénologiques ³	?	Phases agrophénologiques pour chaque espèce	?	Hamill et Dekens, 2014
PROTECTION DES MILIEUX NATURELS	Augmenter la superficie de milieux naturels protégés	Augmenter les investissements publics en protection des milieux naturels	?	Dépenses totales par habitant consacrées à la protection des milieux naturels	?	UN SDGs 2019
RÉDUCTION DES FEUX DE FRICHE	Augmenter la surface traitée contre les feux de friche	Réduire la quantité de combustible (bois mort) dans les zones à risque	Oui, Kamloops (C-B)	Superficie traitée	Oui	Richardson 2010
RUISSELLEMENT	Réduire le ruissellement	Augmenter la couverture de canopée urbaine	Oui, plusieurs villes, dont Montréal	Proportion de la surface couverte par la canopée	Oui, Montréal	ND-GAIN, 2017; Ville de Montréal, 2011

2. Bien que Hamill et Dekens (2014) ne documentent pas la mise en place de tels indicateurs, les bandes riveraines sont déjà largement recommandées au Québec (en vertu de la Politique sur les rives et les plaines inondables).

3. Durée du cycle cultural.

TABLEAU 2 (SUITE) : Exemples d'indicateurs écologiques rattachés aux mesures d'adaptation recensées dans la littérature. Les indicateurs sont catégorisés selon l'indicateur d'effort et sont structurés en fonction de la vulnérabilité visée par la mesure d'adaptation proposée.

VULNÉRABILITÉ	OBJECTIF	MESURE	MESURE EN PLACE?	INDICATEUR	INDICATEUR EN USAGE?	RÉFÉRENCE
ESPÈCES EN PÉRIL	Protéger les espèces figurant dans la liste de l'IUCN	Augmenter la protection de l'habitat des espèces figurant dans la liste de l'IUCN	?	Proportion des espèces figurant dans la liste qui font l'objet de mesures de protection d'habitat	?	UN SDGs 2019
ESPÈCES SENSIBLES AU CLIMAT	Maintenir les populations d'espèces sensibles au climat	Suivi de l'aire de distribution des espèces sensibles au climat	?	Aire de distribution pour chaque espèce	?	Hamill et Dekens, 2014
FEUX DE FORêt	Réduire la vulnérabilité aux feux de forêt	Suivi de la vulnérabilité aux feux de forêt	?	Superficie brûlée par année	?	Hamill et Dekens, 2014
FLUCTUATION RAPIDE DE COURS D'EAU (« FLASHINESS »)	Stabiliser le débit des cours d'eau	Suivi des changements rapides de débits/hauteur	Oui, Vancouver	« Flashiness » des cours d'eau	Oui	Metro Vancouver 2014
MILIEUX HYDRIQUES	Augmenter la proportion de milieux humides protégés	Protéger/restaurer les écosystèmes liés à l'eau (zones humides, rivières, aquifères, etc.)	?	Variation de l'étendue des écosystèmes hydriques	?	UN SDGs 2019
QUALITÉ DE L'EAU	Réduire la charge en azote dans les cours d'eau	Favoriser des mesures de rétention des polluants à l'échelle du bassin versant	Oui, Vancouver	Concentration d'azote dans l'eau des stations d'échantillonnage	Oui	Metro Vancouver 2014
QUALITÉ DE L'EAU	Réduire la concentration de microorganismes dans les cours d'eau	Favoriser des mesures de rétention des polluants à l'échelle du bassin versant	Oui, Vancouver	Concentration de microorganismes indésirables (ex. <i>E. coli</i>)	Oui	Metro Vancouver 2014
QUANTITÉ D'EAU	Stabiliser le débit des cours d'eau	Suivi du débit des cours d'eau	Oui, Vancouver	Débit des cours d'eau (m ³ /min)	Oui	Metro Vancouver 2014
QUANTITÉ D'EAU	Stabiliser le niveau des cours d'eau	Suivi du niveau des cours d'eau	Oui, Vancouver	Hauteur standardisée aux stations d'échantillonnage	Oui	Metro Vancouver 2014
QUALITÉ DE L'EAU (HABITAT)	Augmenter la qualité de l'eau pour les espèces aquatiques	Suivi de la diversité des invertébrés benthiques	Oui, Vancouver	Biodiversité/quantité d'invertébrés benthiques	Oui	Metro Vancouver 2014
QUALITÉ DE L'EAU	Réduire la concentration en métaux lourds	Suivi de la concentration de l'eau en métaux	Oui, Vancouver	Concentration en divers métaux (Zn, Pb, Cd, etc.)	Oui	Metro Vancouver 2014
RAVAGEURS DES FORêTS	Réduire la vulnérabilité des forêts aux ravageurs	Suivi de la vulnérabilité aux ravageurs des forêts	?	Quantité de bois détruite par année	?	Hamill et Dekens, 2014
SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES (SÉ)	Maintenir la production de SÉ	Assurer le maintien des SÉ	?	Productivité des écosystèmes pour chaque SÉ	?	Stadelmann et coll. 2011

TABLEAU 2 (SUITE) : Exemples d'indicateurs écologiques rattachés aux mesures d'adaptation recensées dans la littérature. Les indicateurs sont catégorisés selon l'indicateur d'effort et sont structurés en fonction de la vulnérabilité visée par la mesure d'adaptation proposée.

VULNÉRABILITÉ	OBJECTIF	MESURE	MESURE EN PLACE?	INDICATEUR	INDICATEUR EN USAGE?	RÉFÉRENCE
BÂTIMENTS ADAPTÉS OU ADAPTABLES ⁴	Réduire le ruissellement et les dommages liés au ruissellement	Réduire les surfaces imperméables	?	Proportion de surfaces imperméables ⁵	?	ND-GAIN, 2017
INONDATIONS	Réduire la vulnérabilité aux inondations	Suivi de la vulnérabilité aux inondations	?	Nombre d'habitants des zones inondables	?	Hamill et Dekens, 2014
BÂTIMENTS ADAPTÉS OU ADAPTABLES	Augmenter l'adaptabilité du parc immobilier	Réduire la quantité de bâtiments désuets	?	Proportion de bâtiments bâtis après 1999	?	ND-GAIN, 2017
ÉROSION DES BERGES	Réduire l'érosion des berges	Suivi du nombre de km de berges érodées	?	Nombre de km érodés	?	Jacob et coll. 2010
INONDATIONS	Réduire la vulnérabilité aux inondations	Suivi de la vulnérabilité aux inondations	? ⁶	Nombre d'habitations inondées	?	Hamill et Dekens, 2014
INONDATIONS	Réduire la vulnérabilité aux inondations	Adapter les infrastructures de protection contre les inondations (ex. digues)	?	Nombre de personnes déplacées temporairement ou définitivement	?	Hamill et Dekens, 2014
PRÉCIPITATIONS	Suivre le nombre d'accidents de la route liés aux précipitations	Suivi du nombre d'accidents de la route liés aux précipitations	Non	Nombre d'accidents de la route liés aux précipitations	Non	Jacob et coll. 2010
PRÉCIPITATIONS	Réduire le nombre de surverses	Suivi du nombre de surverses d'égouts	Oui, plusieurs villes, dont Montréal (QC, Can)	Nombre et/ou volume de surverses	Oui	Jacob et coll. 2010
PRÉCIPITATIONS	Réduire le nombre de plaintes liées aux refoulements d'égout	Suivi des plaintes par rapport aux reflux d'égouts	?	Nombre de plaintes	?	Jacob et coll. 2010
QUALITÉ DE L'AIR	Suivre l'état de la qualité de l'air	Suivi de la qualité de l'air	Oui, Montréal (QC, Can), Toronto (ON, Can), New York (É.-U.) et autres	Nombre de jours de mauvaise qualité de l'air ⁷	Oui	Jacob et coll. 2010; Richardson 2010
RÉSILIENCE FACE AUX ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES	Réduire la vulnérabilité des infrastructures aux événements extrêmes	Constructions d'ouvrages de protection	?	Proportion des infrastructures publiques touchées (hôpitaux, routes, etc.)	?	Donatti et coll. 2019
ADAPTATION GÉNÉRALE	Augmenter la quantité de plans d'adaptation locaux	Suivi du progrès des mesures d'adaptation à grande échelle	?	Proportion des administrations locales ayant adopté des mesures d'adaptation aux changements climatiques	?	UN SDGs 2019

4. La référence ne précise pas si les surfaces imperméables renvoient aux bâtiments adaptés ou au cadre bâti. Notons ainsi que le terrain ou la toiture peut également devenir des zones éponges ou d'infiltration, pas seulement les bâtiments.

5. À noter que cet indicateur est présent dans le plan d'adaptation de Montréal 2015-2020, mais un flou demeure quant à son usage et son application.

6. À noter que depuis la fin de ce travail, cette mesure a été mise en place à Montréal dans le cadre de son Plan climat 2020-2030.

7. Chaque ville évalue différemment la qualité de l'air selon la concentration dans l'air de différents polluants

TABLEAU 2 (SUITE) : Exemples d'indicateurs écologiques rattachés aux mesures d'adaptation recensées dans la littérature. Les indicateurs sont catégorisés selon l'indicateur d'effort et sont structurés en fonction de la vulnérabilité visée par la mesure d'adaptation proposée.

VULNÉRABILITÉ	OBJECTIF	MESURE	MESURE EN PLACE?	INDICATEUR	INDICATEUR EN USAGE?	RÉFÉRENCE
ADOPTION DE PLANS DE GESTION INTÉGRÉS	Augmenter l'adoption de plans d'adaptation locaux	Favoriser la mise en place de plans locaux de gestion des eaux de pluie	Oui, Vancouver (BC, Can)	Nombre de municipalités ayant un plan de gestion des eaux de pluie réalisé	Oui	Metro Vancouver 2014
APPLICATION DES MESURES D'ADAPTATION	Augmenter le nombre de projets d'adaptation aux changements climatiques	Faciliter la réalisation des projets d'adaptation	?	Nombre de projets réalisés/projetés	?	Stadelmann et coll. 2011
APPROVISIONNEMENT EN EAU	Faciliter le suivi de la consommation de l'eau	Remplacer les compteurs d'eau	Oui, Régina (SK, Can)	Nombre de compteurs remplacés	Oui	Richardson 2010
BIODIVERSITÉ	Augmenter la protection des milieux naturels	Augmenter le budget de protection des milieux naturels	?	Budget alloué à la préservation et/ou exploitation durable des écosystèmes	?	UN SDGs 2019
CAPACITÉ INSTITUTIONNELLE	Augmenter la résilience des institutions	Augmenter la capacité de réponse aux événements extrêmes des institutions	?	Nombre d'institutions ayant augmenté leur capacité de réponse aux menaces	?	Stadelmann et coll. 2011
COMMUNICATION DE L'INFORMATION	Informier la population des effets réels des projets d'adaptation locaux	Diffuser l'information concernant les risques, les projets d'adaptation et les résultats dans les médias grand-public	?	Nombre de nouvelles locales (télé, journaux, etc.) concernant le projet d'adaptation	?	Stadelmann et coll. 2011
COMMUNICATION PAR RAPPORT AUX CONDITIONS DE DÉPLACEMENT DANGEREUSES	Davantage de radios de communication récentes	Augmenter la portée des radios	Oui, Clyde River (NU, Can)	Nombre de nouvelles radios	Oui	Richardson 2010
ÉROSION DES BERGES	Réduire la vulnérabilité aux inondations	Suivi de la vulnérabilité des communautés à l'érosion côtière	?	Nombre de bâtiments vulnérables dans un horizon temporel de X années	?	Hamill et Dekens 2014
IDENTIFICATION DES VULNÉRABILITÉS	Augmenter le nombre de projets d'adaptation aux changements climatiques	Encourager l'évaluation des vulnérabilités dans les projets d'adaptation	?	Proportion des projets d'adaptation comportant une évaluation des vulnérabilités	?	Stadelmann et coll. 2011
RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT	Augmenter l'investissement en R et D	Soutenir la recherche	?	Proportion des dépenses en recherche et développement	?	UN SDGs 2019
RESSOURCES GÉNÉTIQUES	Augmenter la résilience alimentaire	Sécuriser la diversité des ressources génétiques	?	Nombre de ressources génétiques sécurisées dans des installations spécialisées	?	UN SDGs 2019
RUISSELLEMENT	Réduire le ruissellement	Permis de construction spéciaux pour bâtiments incluant des mesures de réduction du ruissellement	Oui, New York (É.-U.)	Nombre de ces permis émis	Oui	IPCC 2014

TABLEAU 2 (SUITE) : Exemples d'indicateurs écologiques rattachés aux mesures d'adaptation recensées dans la littérature. Les indicateurs sont catégorisés selon l'indicateur d'effort et sont structurés en fonction de la vulnérabilité visée par la mesure d'adaptation proposée.

VULNÉRABILITÉ	OBJECTIF	MESURE	MESURE EN PLACE?	INDICATEUR	INDICATEUR EN USAGE?	RÉFÉRENCE
SÉCURITÉ DES SOURCES D'EAU POTABLE	Diminuer le risque de pénurie d'eau potable	Construction de systèmes de stockage de l'eau en fonction des risques futurs	?	Proportion de la population pouvant être affectée par une pénurie d'eau potable en cas d'événement extrême	?	Donatti et coll. 2019
SENSIBILISATION DE LA POPULATION	Informier la population des risques liés aux changements climatiques	Sensibiliser la population visée aux impacts locaux des CC	?	Proportion de la population sensibilisée aux impacts	?	Stadelmann et coll. 2011
SENSIBILISATION DE LA POPULATION	Informier la population des risques liés aux changements climatiques	Implanter des systèmes de communication des risques et dangers	?	Proportion de la population percevant la menace comme un risque véritable	?	Stadelmann et coll. 2011
SYSTÈMES D'AVERTISSEMENT DES RISQUES	Informier la population des risques liés aux changements climatiques	Implanter des systèmes de communication des risques et dangers	?	Nombre de systèmes d'avertissement mis en place	?	Stadelmann et coll. 2011
APPROVISIONNEMENT ÉLECTRIQUE	Réduire le risque de pannes électriques liées aux événements extrêmes	Adapter le réseau de distribution aux événements extrêmes	?	Sévérité des pannes liées aux événements extrêmes (nombre de personnes touchées, durée, etc.)	?	Hamill et Dekens 2014
APPROVISIONNEMENT EN EAU	Réduire la consommation d'eau potable	Établissement d'une structure tarifaire pour la consommation d'eau	Oui, Régina (SK, Can)	m ³ d'eau consommés	Oui	Richardson 2010
ASSURABILITÉ	Augmenter l'assurabilité	Suivi de l'assurabilité	Oui, New York (É.-U.)	Calcul d'un index sur l'assurabilité des bâtiments avec des données fournies par les compagnies d'assurance	Oui	IPCC 2014
CARTOGRAPHIE DES ZONES À RISQUE	Rendre accessibles les données cartographiques sur les impacts des changements climatiques	Déterminer les zones à fort risque d'impact des CC par la cartographie thématique	Oui, Royaume-Uni	Nombre de cartes thématiques disponibles	?	Beucher 2008; Hamill et Dekens 2014
CHALEUR	Suivre l'adaptation de la population aux vagues de chaleur	Suivi du nombre de logements équipés de climatisation	Non	Nombre d'unités de climatisation vendues	Non	Jacob et coll. 2010
CHALEUR	Suivre les entrées dans les piscines publiques	Suivi de la fréquentation des piscines publiques	Non	Nombre d'entrées dans les piscines publiques	Non	Jacob et coll. 2010
COMMUNICATION DE L'INFORMATION	Augmenter la diffusion des informations générées sur les changements climatiques	Rendre accessible la documentation sur les menaces et vulnérabilités	Oui, Royaume-Uni	Information générée et transmise aux acteurs par unité de temps	?	Beucher 2008; Stadelmann et coll. 2011
COMMUNICATION PAR RAPPORT AUX CONDITIONS DE DÉPLACEMENT DANGEREUSES	Réduire le nombre d'accidents routiers	Augmenter la portée des radios	Oui, Clyde River (NU, Can)	Nombre d'accidents routiers	Oui	Richardson 2010

TABLEAU 2 (SUITE) : Exemples d'indicateurs écologiques rattachés aux mesures d'adaptation recensées dans la littérature. Les indicateurs sont catégorisés selon l'indicateur d'effort et sont structurés en fonction de la vulnérabilité visée par la mesure d'adaptation proposée.

VULNÉRABILITÉ	OBJECTIF	MESURE	MESURE EN PLACE?	INDICATEUR	INDICATEUR EN USAGE?	RÉFÉRENCE
COMMUNICATION PAR RAPPORT AUX MESURES D'ADAPTATION	Informier la population des risques liés aux changements climatiques	Rendre accessible la documentation sur l'adaptation	?	Nombre de visites sur les sites Web gouvernementaux consacrés à l'adaptation	?	Hamill et Dekens 2014
FINANCE « RÉSILIENTE »	Réduire la vulnérabilité des investissements financiers	Suivi de la vulnérabilité des investissements de capitaux de la ville aux changements climatiques	Suivi de la vulnérabilité des investissements de capitaux de la ville aux changements climatiques	Calcul d'un index sur la vulnérabilité des investissements de capitaux aux CG.	Oui	IPCC 2014
INONDATIONS	Réduire l'impact des inondations	Limiter les permis de construction dans les zones inondables	Limiter les permis de construction dans les zones inondables	Nombre de permis émis pour construction en zone inondable	Oui	IPCC 2014
INTÉGRATION DU CONCEPT DE RÉSILIENCE	Faire de la résilience aux changements climatiques un enjeu incontournable dans les projets publics	Intégrer la résilience aux changements climatiques dans les projets à tous les niveaux	?	Nombre de projets ou politiques publiques mentionnant directement la résilience aux CC	?	Hamill et Dekens 2014
PERTES FINANCIÈRES	Diminuer la vulnérabilité financière aux changements climatiques	Augmenter la résilience des secteurs financiers aux CC	?	Perte économique nette (\$) liée aux CC	?	Stadelmann et coll. 2011
PRODUCTION DE BIENS ALIMENTAIRES	Augmenter la résilience des systèmes alimentaires	Suivi de la production agricole	?	Prévalence d'insécurité alimentaire	?	Donatti et coll. 2019
PRODUCTION DE BIENS ALIMENTAIRES	Augmenter la résilience des systèmes alimentaires	Suivi de la production agricole	?	Productivité nette	?	Donatti et coll. 2019
PRODUCTIVITÉ DURABLE	Réduire l'empreinte matérielle par une production efficace	Réduire l'empreinte matérielle en augmentant l'efficacité énergétique	?	Empreinte matérielle par habitant ou par unité de PIB	?	UN SDGs 2019
SÉCHERESSE	Réduire le risque de pénurie alimentaire	Suivi de la productivité agricole en cas de sécheresse	?	Proportion de la récolte détruite	?	Hamill et Dekens 2014
TRANSPORT	Augmenter l'accessibilité des transports en commun	Assurer l'accès aux transports en commun	?	Proportion de la population ayant accès aux transports en commun	?	UN SDGs 2019

3

ÉTUDES DE CAS



Photo : Louise Héault-Ethier

Les études de cas constituent d'excellents outils pour bien comprendre comment les municipalités déploient les mesures d'adaptation sur leur territoire et quels indicateurs ont été retenus pour leur évaluation, de façon à en dégager des enjeux émergents pouvant en faciliter l'appropriation par d'autres localités. C'est pourquoi la présente section de la revue de littérature s'attardera à quelques études de cas, qui présentent une mesure d'adaptation ainsi que les indicateurs qui s'y rattachent. Pour chacun d'entre eux, une brève évaluation des indicateurs utilisés ou à utiliser sera réalisée. Il est à noter qu'il existe de nombreuses études de cas sur l'adaptation aux impacts des changements climatiques (inondations, vagues de chaleur, etc.) à l'échelle mondiale. Cependant, celles qui traitent de mesures d'adaptation face à des impacts autres que climatiques (espèces envahissantes, perte de la biodiversité, etc.) sont pratiquement inexistantes dans plusieurs parties du monde, notamment au Canada et aux États-Unis.

De nombreux projets d'adaptation entrepris par une ville ou une autre entité de gestion ne sont pas documentés à la manière d'une étude de cas. Les processus de planification, de mise en place et de suivi sont généralement réalisés à l'interne. Cela fait en sorte qu'il est difficile d'obtenir la documentation nécessaire à l'analyse de ces actions d'adaptation. En conséquence, les auteurs de l'étude suggèrent aux municipalités de bien définir leurs enjeux d'adaptation pour assurer le transfert d'expertise vers d'autres entités gouvernementales et scientifiques et ainsi consolider l'avancement des connaissances, permettant une éventuelle optimisation des mesures d'adaptation dans différents territoires.

Les études de cas qui portent sur l'adaptation peuvent être classées en deux grandes catégories. Tout d'abord, on retrouve les plans d'adaptation « stratégiques » mis de l'avant par les gouvernements. Ces documents soulignent généralement les vulnérabilités pour une région ou une province entière, puis suggèrent les grandes lignes à suivre en matière d'adaptation. Parfois, ces plans incluent des mesures plus précises en suggérant des indicateurs et des cibles, ce qui ajoute à leur pertinence. Mentionnons ensuite les études de cas du type « opérationnelles », qui ont trait à une mesure d'adaptation particulière. Elles présentent

une réponse à une vulnérabilité établie au préalable en déterminant son efficacité. En général, ces études présentent un objectif, des cibles et des indicateurs clairement définis. Toutefois, l'intégration de ces deux échelles est rarement réalisée dans un seul document. La plupart du temps, le suivi de la mise en place et de l'efficacité des mesures (s'il y a lieu) n'est pas effectué par l'organisme responsable du plan stratégique. Le cas de Metro Vancouver (étude n° 5) est exemplaire en ce sens, car il imbrique les niveaux stratégique et opérationnel dans un même plan.





3.1.Risque d'inondation à Annapolis Royal, Nouvelle-Écosse

Annapolis Royal est une petite communauté côtière de la baie de Fundy, en Nouvelle-Écosse. L'enfoncement des terres (phénomène de nature géologique se produisant depuis des milliers d'années) et la montée du niveau des eaux (phénomène lié aux CG) augmentent le risque d'inondations liées aux tempêtes (phénomène appelé à s'amplifier en raison des CG). Il s'ensuit que certaines parties du territoire de la municipalité sont particulièrement vulnérables à ces catastrophes.

Pour cette raison, un groupe de citoyens a décidé de réaliser une étude sur les vulnérabilités, les risques et les mesures d'adaptation à prendre. L'objectif des mesures d'adaptation est d'accroître la résilience de la communauté aux inondations en réduisant la surface inondable. La documentation disponible sur cette étude de cas ne rend pas compte d'un mécanisme de suivi de la performance. Celle-ci a été réalisée par Lemmen et coll. (2007).

EN RÉSUMÉ

Vulnérabilités : Larges zones présentant un risque d'inondation. Services d'urgence situés sur une colline qui serait entourée d'eau lors d'une forte inondation.

Objectif : Réduire la superficie inondable.

Mesures d'adaptation : Établir un seuil d'alerte pour avertir les citoyens d'un risque d'inondation. Équiper les services d'urgence d'embarcations. Construire une digue pouvant contenir une montée des eaux de 5,4 m.

Indicateurs et cibles : Bien que les documents disponibles ne précisent pas les indicateurs utilisés par la municipalité pour évaluer l'efficacité des mesures d'adaptation, les indicateurs pertinents pourraient inclure : le nombre d'inondations évitées grâce à la nouvelle digue, le nombre (par année) d'habitations inondées et le temps moyen nécessaire pour atteindre chaque résidence par les services d'urgence.



3.2. Réduction du ruissellement par les infrastructures naturelles à Washington DC. (États-Unis)

La ville de Washington, dans le cadre de son plan de développement durable et dans le but de réduire les surverses d'égouts, a rédigé un plan pour la construction de trois grands tunnels de drainage destinés à contenir les surplus d'eau lors de fortes précipitations (DC water and sewer authority, 2015). Compte tenu des coûts élevés d'une telle mesure et de l'incertitude sur l'occurrence des événements climatiques extrêmes se rattachant aux CG, ce plan initial a été révisé, l'un des tunnels ayant été remplacé par un système d'infrastructures naturelles. L'objectif n'était pas d'augmenter la capacité du système à contenir les eaux de ruissellement, mais de réduire la quantité d'eau captée par ce système par l'augmentation de l'infiltration d'eau dans le sol. Ce cas est particulièrement intéressant, car

le plan original prévoyait un indicateur de performance financier (dépense des fonds, respect du budget), mal choisi pour la situation. Cet indicateur a été rejeté dans le plan finalement adopté; il a plutôt été convenu de mesurer l'efficacité du nouveau système de collecte (en nombre de surverses). Ce choix représente une prise de conscience par rapport à la valeur de l'objectif de cette mesure. L'indicateur retenu permet de véritablement mesurer l'atteinte de l'objectif. Le nombre de surverses est directement tributaire des précipitations et de l'efficacité de la mesure d'adaptation, il permet d'établir un état de référence et il est aisément mesurable. Il s'agit donc d'un indicateur de performance pertinent selon les critères énoncés à l'encadré 1.

EN RÉSUMÉ

Vulnérabilités : Le système de collecte des eaux de ruissellement n'est pas conçu pour faire face aux conditions futures prévues.

Objectif : Réduire le ruissellement des eaux de pluie.

Mesures d'adaptation : Construction de deux tunnels de rétention et d'un système d'infrastructure verte pour favoriser l'infiltration.

Indicateurs et cibles : Le système de gestion des eaux de pluies devrait être en mesure d'éviter une surverse (indicateur) dans 96 % des cas (cible).



3.3 Réduction de la vulnérabilité aux vagues de chaleur par l'infrastructure durable New York (États-Unis).

Selon un rapport produit par la ville de New York (Rosenzweig et Solecki, 2013), les vagues de chaleur sont la principale cause de décès liée au climat. La ville a réalisé un plan d'adaptation à ces événements extrêmes, qui iront en augmentant avec les changements climatiques (deux occurrences par année entre 1970-2000; sept occurrences par année en 2050, d'après les simulations menées par la ville). New York a décidé de mener son plan d'adaptation aux vagues de chaleur sur trois fronts. Tout d'abord, sous un angle plus « social », la ville tente de sensibiliser les populations plus vulnérables (personnes âgées, pauvres et souffrant de maladies chroniques) aux effets néfastes des vagues de chaleur. À cette fin, un programme social a été mis sur pied (programme *Be A Buddy*) pour faciliter le partage d'information concernant les vagues de chaleur entre les résidents vulnérables. De plus, la ville favorise des mesures d'adaptation procurant des avantages connexes qui permettent de mieux composer avec les vagues de chaleur : la plantation d'arbres, la diffusion d'information sur les endroits où se rafraîchir, les piscines publiques, etc. Dans cette catégorie entrent aussi les mesures concernant le verdissement et les toits verts et blancs. Ces dernières permettent de réduire rapidement l'effet d'îlot de chaleur urbain

tout en assurant une meilleure résilience aux vagues de chaleur dans l'avenir. Finalement, la ville a réalisé une étude des risques et vulnérabilités liés au climat en mandatant un laboratoire universitaire. Cette étude a été intégrée au plan d'adaptation de la ville, qui a ensuite modifié ses propres évaluations de vulnérabilités. Cela a incité la ville à mettre sur pied un programme afin de favoriser l'implantation des toits blancs (appelé *NYC CoolRoofs*). La réfection des bâtiments dans le but d'ajouter un revêtement blanc ou réfléchissant (voir encadré) constitue en effet une mesure d'adaptation visant à réduire l'effet d'îlot de chaleur. Dans ce cas-ci, la documentation disponible n'indique pas de cible, et il semble sous-entendu que l'indicateur à mesurer est la diminution de la température du toit. Cet indicateur est mesurable et directement lié à l'ensoleillement et aux propriétés réfléchissantes du matériau, ce qui le rend scientifiquement solide. Par contre, il sera difficile d'intégrer cet indicateur à la prise de décisions, étant donné qu'il concerne une échelle réduite. La température moyenne du segment de rue et une cible conséquente (p. ex., réduction moyenne de 1,5 °C) pourraient être envisagées pour assurer le respect des critères de l'encadré 1.

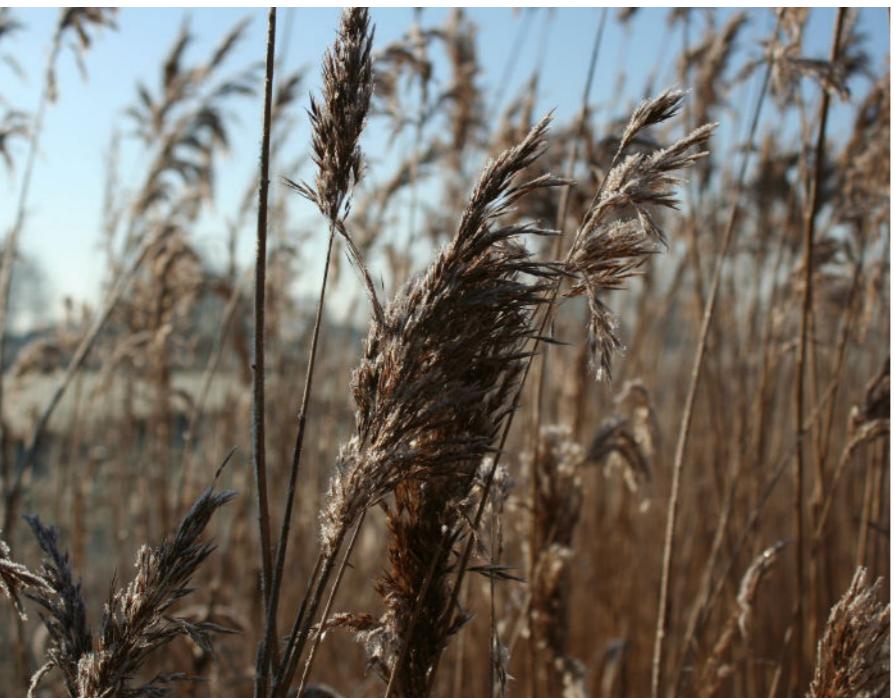
EN RÉSUMÉ

Vulnérabilités : Les vagues de chaleur causent de graves problèmes de santé publique, en particulier chez les populations vulnérables.

Objectif : Réduire la température ambiante.

Mesures d'adaptation: Réfection des toits à forte absorption thermique pour des revêtements blancs ou réfléchissants.

Indicateurs et cibles : Le laboratoire universitaire mandaté par la ville effectue le suivi de l'efficacité des mesures en installant des capteurs sur les toits et dans les rues. Bien que les cibles ne soient pas directement mentionnées, il semble qu'un revêtement blanc pourrait réduire la température du toit de plus de 50 °F (27 °C), selon les observations réalisées par l'université Columbia dans le cadre de ce programme (NYC Service, 2013).



3.4. Stratégie de gestion des espèces envahissantes de Colombie-Britannique.

Cette stratégie ne représente pas une étude de cas à proprement parler. L'évolution de la stratégie entre sa première version (2012-2016) (Invasive Species Council of BC, 2012) et sa dernière version (2018-2022) (Invasive Species Council of BC, 2017b) présente toutefois un processus itératif basé sur la mesure de certains indicateurs de performance des mesures proposées. Cette caractéristique généralement propre aux études de cas plus opérationnelles (voir études précédentes) montre qu'il est également envisageable de réaliser une planification plus complexe, sur plusieurs fronts simultanés et à une vaste échelle géographique pour une problématique liée aux CG.

En 2012, le gouvernement de la Colombie-Britannique a mis sur pied une stratégie de gestion des espèces envahissantes. La province a constaté des impacts sur divers secteurs, notamment l'économie, attribuables à un nombre grandissant d'espèces exotiques envahissantes. D'après l'évaluation de 2012, les espèces envahissantes ont causé des pertes s'élevant à 65 M\$ pour la province en 2008, un chiffre qui devrait grimper en passant à 129 M\$ en 2020. Ces impacts, présents et à venir, comprennent des effets sur l'agriculture, la pêche, la valeur des propriétés, la production d'énergie et la perte de biodiversité. La stratégie de 2012 comportait six solutions assorties de nombreuses actions. En voici un exemple :

- Solution 1 : Établir et imposer des outils de réglementation efficaces :

- ~ Action 1 : Réaliser une revue de toutes les espèces envahissantes présentes sur le territoire et déterminer les actions applicables en matière de gestion.
- ~ Action 2 : Créer une loi unique pour toutes les espèces envahissantes de la province (p. ex., *Invasive Species Act*).
- ~ Action 3 : Développer un processus d'évaluation des risques pour justifier la législation relative à chaque espèce envahissante.

À l'échéance de la stratégie de 2012, la province a mené un processus consultatif auprès des acteurs concernés (sous forme de sondage) pour déterminer quelles actions avaient été entreprises et leur taux de succès respectif. Le rapport *Monitoring for success* (Invasive Species Council of BC, 2017) explique ce processus et

communique les résultats. En guise d'exemple, voici ce qu'indique le rapport pour la Solution 1 (entre autres) :

- Aucune loi unique concernant les espèces envahissantes n'a été créée par le gouvernement de la province.
- Toutefois, 51 % des répondants affirment avoir mis en place des lois et règlements pour assurer le contrôle de ces espèces.
- 60 % des répondants indiquent qu'ils imposent le respect de ces lois aux citoyens.

Ainsi, la mise en place de mesures d'adaptation aux espèces envahissantes progresse (hausse de 51 % pour l'indicateur « acteurs ayant instauré une loi ou un règlement » entre 2012 et 2016), mais l'objectif de création d'une loi unique au niveau provincial n'est pas atteint. Ces objectifs ont donc été reconduits dans la nouvelle stratégie de gestion (2018-2022) (Invasive Species Council of BC, 2017b).

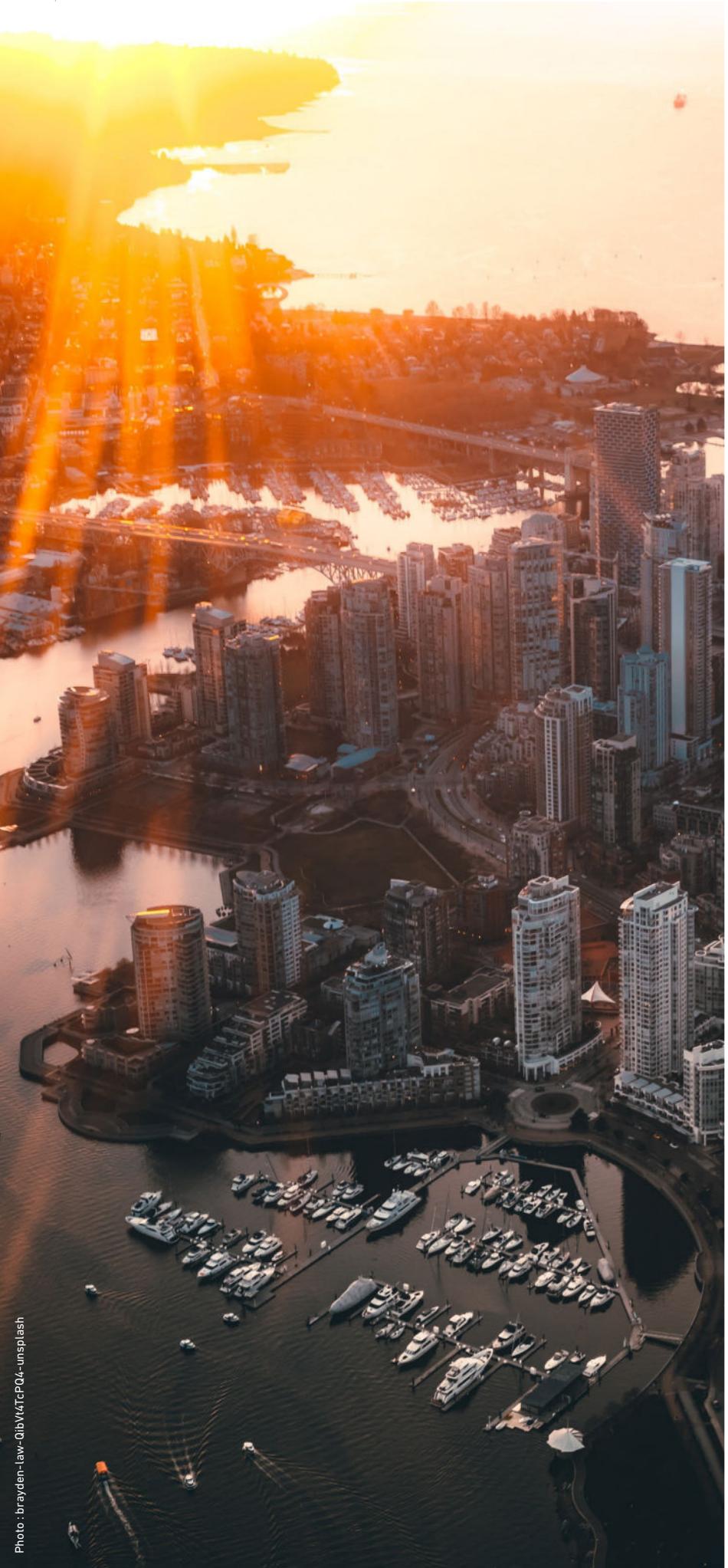
EN RÉSUMÉ

Vulnérabilités : Prise de conscience des répercussions des espèces envahissantes sur divers secteurs liés au bien-être des résidents (économie, environnement, etc.).

Objectif : Augmenter la résilience face aux espèces envahissantes.

Mesures d'adaptation : Multiples, notamment des mesures en matière de législation, de communication et d'éducation, d'acquisition de connaissances, de financement et d'actions concrètes menées par des acteurs à divers paliers institutionnels.

Indicateurs : Multiples. Dans le cas du plan provincial, utilisation de consultations avec les acteurs concernés et utilisation de ces données.



3.5. Programme de gestion des eaux pluviales du Metro Vancouver

La région du delta du fleuve Fraser forme une vaste plaine bordée par les montagnes Rocheuses au nord et la frontière américaine au sud. Cette plaine contient des dizaines de municipalités ainsi que la ville de Vancouver. Dans le but de préserver l'habitat aquatique du fleuve, de ses tributaires et de son estuaire, la région métropolitaine de Vancouver (Metro Vancouver) a créé un plan de gestion des eaux pluviales à l'échelle de la région : *Monitoring and Adaptive Management Framework for Stormwater* (Metro Vancouver, 2014). Celui-ci met de l'avant une gestion adaptative du territoire pour réduire la charge en sédiments et en polluants agricoles des cours d'eau. Ainsi, chaque municipalité joue un rôle dans la création de son propre plan local de gestion des eaux de pluie, tout en restant orientée dans ses actions par le plan général. La mise en place et la gestion des actions d'adaptation est donc décentralisée vers les communautés. Ces dernières sont également responsables du suivi des indicateurs, qui sont pour leur part définis dans le plan général. Ainsi, les résultats de chaque mesure d'adaptation sont comparés sur la base des mêmes standards, peu importe la municipalité.

Les mesures suggérées dans le plan général de gestion des eaux de pluie sont nombreuses. À titre d'illustration, en voici quelques-unes : les ouvrages de rétention des eaux de pluie (biorétentions ou jardins d'eau, entre autres), les fossés végétalisés (*bioswales*), les surfaces pavées perméables, la renaturalisation des berges (bandes riveraines végétalisées), la collecte des eaux de pluie et la plantation d'arbres. Ces mesures permettent de répondre à l'objectif en réduisant la quantité d'eau de ruissellement qui parvient au cours d'eau ou en améliorant la qualité de celle-ci.

L'utilisation d'indicateurs uniformes pour l'ensemble des mesures d'adaptation permet également de poursuivre un plan de gestion adaptive. Ce type de gestion est fondé sur les résultats des relevés d'indicateurs, de manière à rajuster rapidement le tir si une action réalisée ne produit pas les résultats escomptés. Cette pratique permet à l'inverse d'appliquer des mesures qui se sont avérées efficaces pour un endroit à d'autres cours d'eau. Cette nouvelle mise en place entre ensuite à son tour dans la boucle d'amélioration continue de l'aménagement adaptatif, comme le montre la figure 1.

EN RÉSUMÉ

Évaluation des vulnérabilités : Pression sur les habitats aquatiques causée par les déficiencies du système de drainage des eaux de pluie de la région métropolitaine de Vancouver.

Objectif : Améliorer la qualité et le débit de l'eau des tributaires du fleuve Fraser.

Mesures d'adaptation : Multiples. Chaque municipalité a la responsabilité de créer son propre plan. Les plans (général et locaux) mettent de l'avant la gestion adaptive, ce qui permet une réponse rapide aux conditions changeantes et d'adapter le plan lui-même en fonction des mesures d'adaptation les plus efficaces.

Indicateurs et cibles : Multiples. Définis par le plan général (et donc uniformes pour toutes les municipalités), les indicateurs permettent de comparer l'efficacité des mesures sur la qualité et le débit des cours d'eau. Quelques-uns de ces indicateurs sont présentés au tableau récapitulatif (tableau 1).

3.6. Stratégie de résilience de Paris

La ville de Paris s'est dotée d'un « plan de résilience » visant l'adaptation aux six grandes vulnérabilités qu'elle juge prioritaires (Ville de Paris, 2017). Ces dernières ont été déterminées au moyen de consultations avec les parties prenantes (municipalités, acteurs économiques, associations, universités et citoyens). Voici les vulnérabilités prioritaires :

- les inégalités sociales, économiques et territoriales, et la cohésion sociale;
- le risque terroriste et le contexte sécuritaire;
- le dérèglement climatique;
- la pollution de l'air;
- la Seine et les risques liés au fleuve; et
- la gouvernance territoriale.

Contrairement aux autres études de cas, le plan de résilience de Paris ne concerne pas seulement des enjeux liés aux changements climatiques. Pour s'attaquer à ces vulnérabilités, il propose un plan d'action composé de trois « piliers ». Chaque pilier comporte trois « objectifs » assortis chacun de deux à cinq « actions ». Les objectifs correspondent à une mesure d'adaptation thématique regroupant des mesures d'adaptation précises. Les actions correspondent au terme « mesures d'adaptation » utilisé plus couramment dans la littérature et dans ce texte. Les tableaux 3, 4 et 5 montrent tous les piliers, objectifs et actions du plan de résilience.

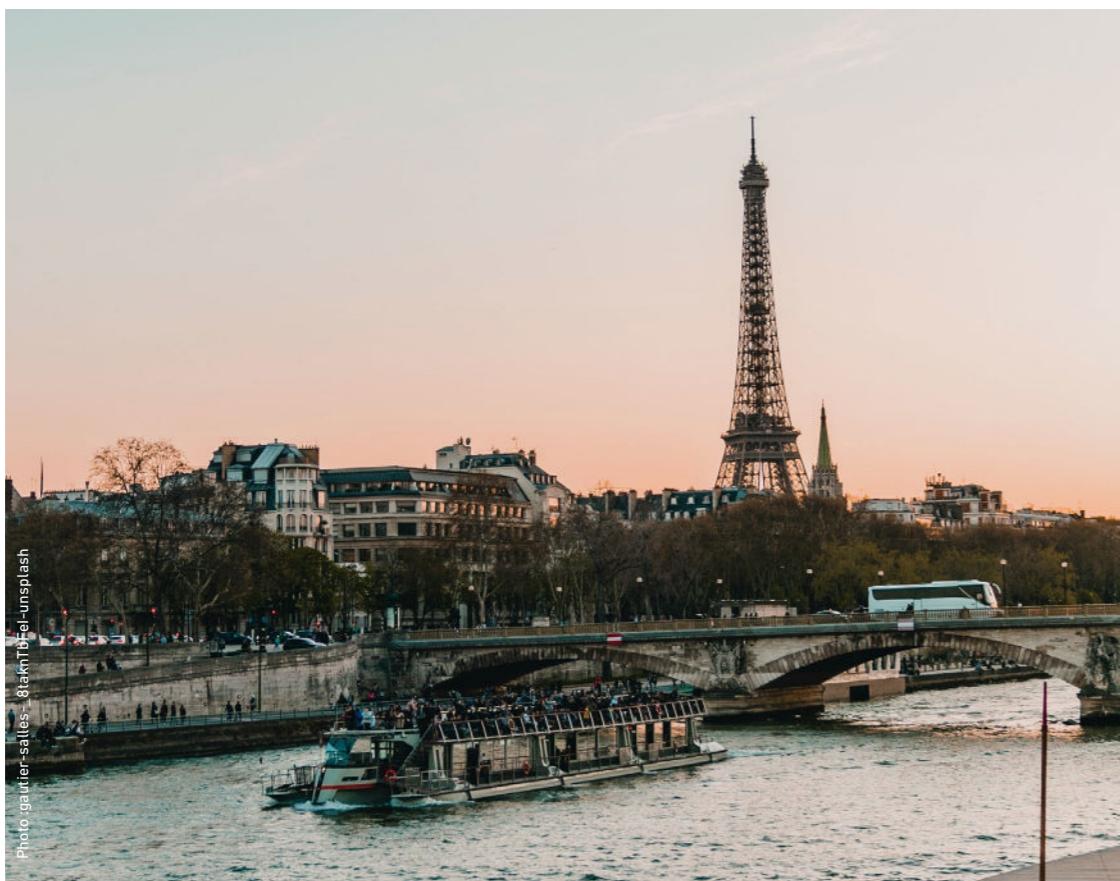


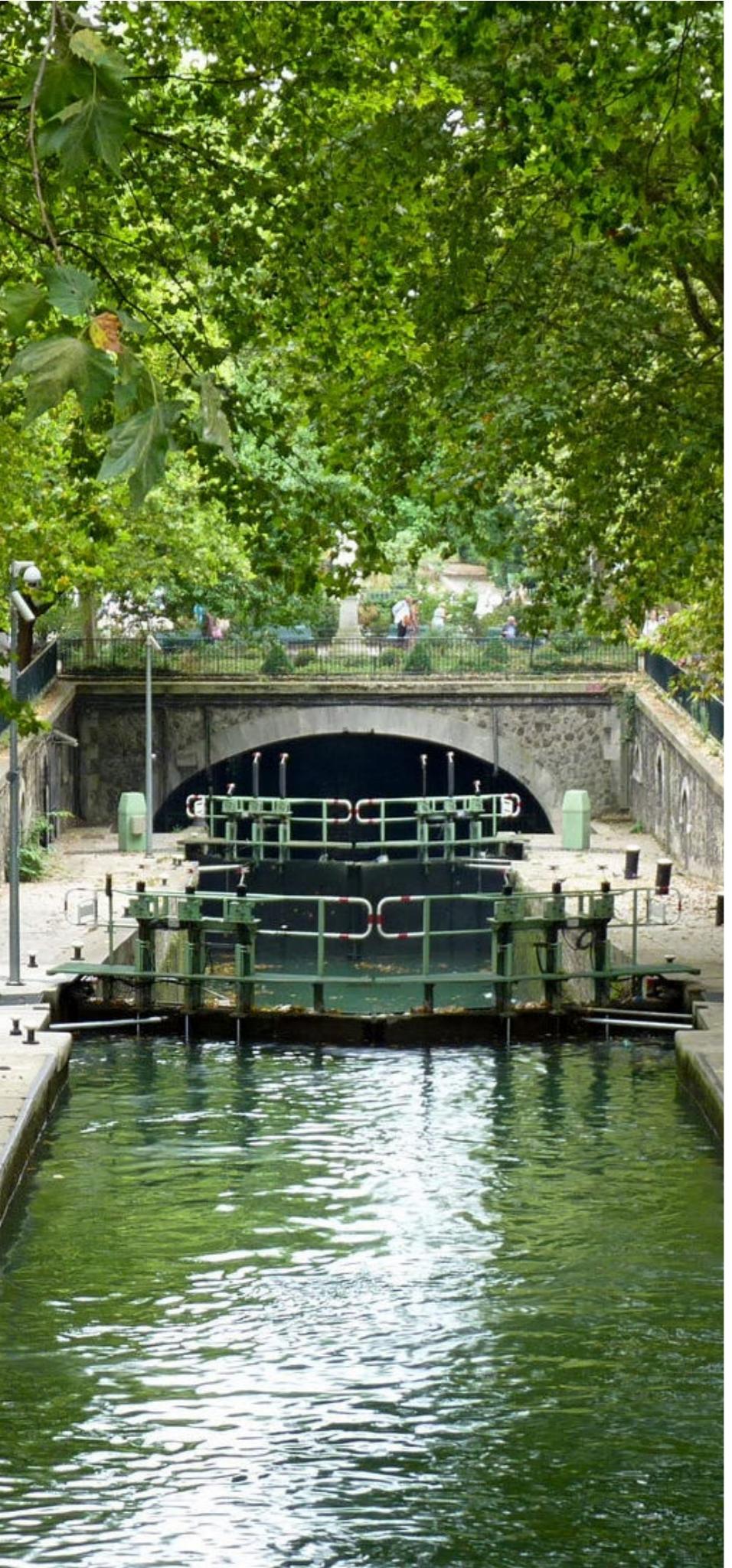
Photo : gautier-salles - 8akmTbEl - unsplash

Tableau 3. Piliers, objectifs et actions du plan de résilience de la ville de Paris (Plan de résilience de Paris, p35 2017).

PILIER 1 Une ville inclusive et solidaire, qui s'appuie sur ses habitants pour renforcer sa résilience	
OBJECTIF	EXEMPLE POSITIF
A. Préparer petits et grands à faire face aux crises majeures et aux difficultés du quotidien	<ul style="list-style-type: none">1. Mobiliser un réseau de citoyens solidaires, pour renforcer la résilience face à un choc comme au quotidien2. Déployer un large dispositif de formation aux gestes qui sauvent et aux comportements à adopter face aux risques, par la pédagogie et l'exercice ludique3. Assurer un soutien psychologique à l'ensemble de la population face à des chocs, pour renforcer la cohésion sociale et préserver la santé4. Renforcer le soutien à la parentalité et accompagner la communauté éducative dans la prise en charge des traumatismes et des difficultés au quotidien5. Démultiplier les gestes solidaires quotidiens en facilitant la mise en relation entre les personnes souhaitant s'engager et celles ayant besoin d'aide6. Encourager les voisins, petits et grands, à occuper temporairement les lieux publics7. Soutenir la création de nouveaux métiers de proximité8. Encourager l'initiative, la mise en œuvre et le cofinancement par les particuliers et les acteurs locaux des solutions de résilience9. Systématiser les interventions temporaires et à petite échelle pour animer, imaginer et transformer les espaces urbains avec les habitants
B. Créer les conditions de la bienveillance entre voisins et de l'inclusion à l'échelle des quartiers	
C. Permettre aux habitants de façonner ensemble la ville de demain	

Tableaux 4 et 5. Piliers, objectifs et actions du plan de résilience de la ville de Paris (Plan de résilience de Paris, p35 2017).

PILIER 2 Une ville construite et aménagée pour répondre aux défis du XXI ^e siècle		PILIER 3 Une ville en transition qui mobilise l'intelligence collective, adapte son fonctionnement, et coopère avec les autres territoires	
OBJECTIF	EXEMPLE POSITIF	OBJECTIF	EXEMPLE POSITIF
A. Anticiper les risques et adapter les infrastructures	10. Transformer les cours d'école en « oasis », véritables îlots de fraîcheur	A. Mobiliser l'intelligence et les ressources collectives	24. Créer un centre de ressources, de recherche et de formation open source et multi-cibles pour la résilience
	11. Anticiper les risques, leurs impacts potentiels sur les infrastructures, leur coût pour le territoire, et élaborer des solutions multipartenariales pour les atténuer		25. Créer un observatoire pour connaître les impacts des différents risques sur la santé et observer les fragilités socioenvironnementales sur le territoire
	13. Mieux connaître les sous-sols pour réduire les risques d'effondrement et d'inondation, et améliorer les infrastructures		26. Mobiliser les acteurs de l'innovation et du numérique pour élaborer une cartographie dynamique et participative des enjeux de résilience urbaine
	14. Engager la transformation du boulevard périphérique et du réseau autoroutier de l'agglomération		27. Créer de nouveaux mécanismes de financement des solutions pour la résilience à Paris : du <i>sustainability bond</i> au <i>resilience bond</i> ⁸
	15. Mobiliser la logique « intégrée », l'innovation, et développer la nature en ville pour faire de l'espace public un vecteur d'inclusion sociale et de bien-être		28. Orienter vers la résilience les investissements municipaux, traités de concessions, délégations de service public et la commande publique grâce à de nouveaux indicateurs
	16. Faire du réseau d'éclairage un maillage de services urbains multiples		29. Garantir la continuité d'activité municipale en cas de crise
	17. Adapter les équipements publics aux enjeux prioritaires : flexibles et modulaires, capables d'accueillir des usages multiples		30. Planifier la résilience des systèmes d'information municipaux et renforcer la sécurité en cas de cyberattaque
	18. Aménager des Espaces Verts « intégrés », permettant de répondre à des enjeux climatiques et sociaux		31. Définir un pacte de coopération territoriale avec les municipalités périurbaines et rurales, autour d'intérêts communs et d'actions partenariales
	19. Explorer la ville des racines à la canopée, et développer de nouveaux usages dans les sous-sols et sur les toits		32. Soutenir le programme d'adaptation au changement climatique du bassin versant pour préserver la ressource en eau et limiter l'ampleur des crues en partenariat avec les communes rurales
C. Promouvoir un urbanisme résilient dans une ville dense	20. Généraliser le recours à l'urbanisme transitoire	C. Coopérer avec les autres territoires pour engager les transitions	33. Adopter une stratégie territoriale d'alimentation durable
	21. Développer la première zone d'aménagement concerté (ZAC) résiliente et adaptée au changement climatique à Saint-Vincent de Paul		34. Réaliser une étude multi-acteurs du potentiel de création de centres de cotravail et d'échanges d'emplois à l'échelle de l'agglomération
	22. Concevoir un quartier résilient exemplaire à Bercy-Charenton		35. Développer l'économie circulaire, la fabrication locale et les échanges non monétaires
	23. Systématiser les solutions résilientes dans l'urbanisme, par les documents réglementaires et les cahiers des charges		



Chaque action du plan est ensuite présentée individuellement. Il y a notamment de l'information sur la mise en œuvre de la mesure. Par exemple, à l'action 10, « transformer les cours d'école en oasis de fraîcheur » les étapes sont divisées en deux temps : à court terme, (choisir les emplacements à déminéraliser, évaluer le potentiel de mise en place comme la machinerie et communauté); et à moyen terme (évaluer les résultats et élargir le programme à d'autres types d'établissements). Le plan indique ensuite les acteurs principaux qui seront impliqués dans cette mesure.

Le Plan de résilience de Paris est un cas intéressant pour plusieurs raisons. La démarche utilisée pour y arriver est clairement établie et transparente, contrairement à la majorité des autres cas. Les vulnérabilités relevées ne concernent pas toutes expressément les CG, mais

peuvent avoir un lien avec ceux-ci (inégalités sociales, risque terroriste, etc.). Cela montre que Paris voit tous ces enjeux comme étant interreliés, mais le lien avec une cause commune (les CG) n'est pas clairement énoncé. De plus, ce plan possède une structure bien particulière : les objectifs et mesures d'adaptations suggérées ne traitent pas directement des vulnérabilités énoncées. En effet, l'étape intermédiaire des « piliers » pourrait être qualifiée de « regroupement thématique » lié aux objectifs, mais pas aux vulnérabilités. Enfin, bien que ce plan présente en détail toutes les mesures d'adaptation proposées, il ne propose pas d'indicateur ni de cible pour suivre leur progression ou leur performance par rapport à l'atteinte des objectifs. Cela est généralement le cas de plans de nature plutôt stratégique.

EN RÉSUMÉ

Évaluation des vulnérabilités : Six grandes vulnérabilités associées aux changements globaux.

Objectif : Neuf objectifs regroupés en trois piliers.

Mesures d'adaptation : 35 mesures associées chacune à un objectif.

Indicateurs et cibles : Aucun indicateur ni aucune cible précisés.



3.7. Plan climat 2020-2030 de la ville de Montréal

La ville de Montréal s'est dotée d'un Plan Climat en décembre 2020⁹. Le plan complet est un document massif de 122 pages qui contient 46 actions, dont 16 actions phares. La mise en œuvre des actions est prévue pour 2030 dans la majorité des cas. Ces actions sont regroupées en quatre orientations incontournables :

1. Accélérer la transition écologique
2. Renforcer la solidarité, l'équité et l'inclusion
3. Amplifier la démocratie et la participation
4. Stimuler l'innovation et la créativité

Les actions sont aussi regroupées en cinq chantiers d'intervention :

- Mobilisation de la communauté Montréalaise.
- Mobilité, urbanisme et aménagement.
- Bâtiments.
- Exemplarité de la Ville.
- Gouvernance.

Par ailleurs, huit indicateurs ont été choisis pour faire l'objet d'un suivi régulier. Les indicateurs et leurs cibles sont répartis équitablement entre la réduction des émissions de GES et la résilience ou l'adaptation. La Ville reconnaît toutefois que la non-disponibilité de certaines données a guidé son choix vers une cible imprécise dans certains cas, et qu'un comité d'expert pourra aider à rendre plus précis ou à ajouter certains indicateurs, notamment pour la résilience et l'adaptation.

Parmi les mesures phares proposées dans le Plan climat de la Ville de Montréal, certaines gagneraient à être améliorées, notamment en assurant leur adéquation avec les conclusions des travaux des comités d'experts qui ont débuté peu après sa publication initiale. D'après les observations de la présente étude, on pourrait recommander d'ajouter des indicateurs d'efficacité en complément aux indicateurs d'efforts retenus (p. ex., plantation de 500 000 arbres), de préciser les cibles qui ne sont pas pour l'instant quantitatives (p. ex., diminution de la superficie des îlots de chaleur) et d'harmoniser d'autres cibles aux objectifs nationaux ou internationaux (p. ex., 30% du territoire protégé pour 2030) ou à tout le moins de justifier les contraintes des objectifs intérimaires choisis localement. Toutefois, on note également une démarche rigoureuse d'acquisition et de mise à jour des connaissances en ce qui a trait aux données biophysiques et socioculturelles (cartographies des zones de vulnérabilité). Celles-ci permettront à court terme d'avoir un portrait clair des enjeux territoriaux afin de poursuivre des objectifs plus concrets que la diminution de la vulnérabilité.

Finalement, la Ville actualisera l'état d'avancement de son plan sous forme de tableau accessible à la population sur son site Internet. L'accès à ces données démontre de la transparence et est une bonne pratique à mettre en place pour susciter l'adhésion de la population.

EN RÉSUMÉ

Évaluation des vulnérabilités : Multiples, tant environnementales (îlots de chaleur, zones inondables) que sociales (inégalité).

Objectif : Réduction des émissions de GES et augmentation de la résilience et de l'adaptation face aux changements climatiques.

Mesures d'adaptation : Multiples, notamment des mesures législatives, de communication et d'éducation, d'acquisition de connaissances et de financement, et des actions concrètes menées par des acteurs à divers paliers institutionnels.

Indicateurs : Multiples. Certains indicateurs comportent des cibles précises (numériques), tandis que d'autres sont qualitatifs.

9. Remarque : la présente étude a été réalisée avant la sortie du Plan climat de Montréal 2020. Toutefois, lors de la révision du présent document il a été possible d'intégrer certains renseignements issus du Plan climat, car celui-ci était alors disponible.

4

CONCLUSION



Photo: Mathieu B. Morin

Afin d'atténuer les effets délétères des changements climatiques, il convient de déployer des mesures d'adaptation adaptées aux réalités locales et aux trajectoires anticipées des changements, car la mitigation à elle seule ne peut régler l'enjeu global des changements climatiques. Plus les vulnérabilités territoriales ou sociales sont grandes, plus les impacts des changements climatiques seront perceptibles. Les villes et villages du Québec auront à composer avec une intensification des épisodes de chaleur accablantes, des précipitations abondantes et des tempêtes hivernales. Déjà, certaines villes ont proposé des mesures d'adaptation intégrées à leur planification de mitigation et d'adaptation aux changements climatiques (Plan climat, Ville de Montréal, 2020). Les auteurs de la présente étude soulignent l'importance de fixer des cibles chiffrées pour réduire les vulnérabilités, d'équilibrer les indicateurs d'efforts en leur préférant des indicateurs de performance dans les mesures de suivi et d'harmoniser les cibles avec les objectifs nationaux ou internationaux, ainsi que d'acquérir et de mettre à jour régulièrement les connaissances des vulnérabilités biophysiques et socioculturelles, notamment grâce à des outils cartographiques. Parmi les leçons les plus importantes à retenir, notons le processus continu d'évaluation des vulnérabilités et des risques, de planification des mesures d'adaptation, d'implantation et de suivi des mesures. Un plan d'adaptation devrait comporter plusieurs indicateurs de performance qui nécessitent une évaluation objective (pertinence à la prise de décision, robustesse analytique et mesurabilité) afin de bien évaluer l'efficacité et la progression dans l'atteinte des cibles d'adaptation. La présente revue de littérature proposait six études de cas permettant de mieux comprendre comment les municipalités déplacent les mesures d'adaptation sur leur territoire et quels indicateurs ont été retenus pour leur évaluation, de façon à en dégager des enjeux émergents pouvant faciliter l'appropriation dans les municipalités québécoises. Ces exemples de cas recèlent d'exemples portant sur la mitigation des risques d'inondation, la réduction du ruissellement de surface, la gestion des eaux pluviales, et l'amoindrissement de la vulnérabilité aux vagues de chaleur, des stratégies de gestion des espèces envahissantes et des plans de résilience plus englobants.

Voici des recommandations qui émergent de la revue de littérature et des études de cas qui y sont présentées :

- Publier des études de cas à partir des initiatives locales pour favoriser le partage et l'accessibilité aux mesures phares.
- Développer des indicateurs appropriés pour suivre l'efficacité de chaque plan, projet, règlement ou allocation budgétaire.
- Développer un outil cartographique universel pour la priorisation, l'implantation et l'évaluation des mesures d'adaptation.
- Procéder au déploiement des mesures d'adaptation avec un cycle d'amélioration continue incluant l'évaluation des vulnérabilités et des risques, la planification des mesures d'adaptation, l'implantation et le suivi des mesures.
- Afin de développer des plans d'adaptation pouvant être mis en œuvre par les municipalités, il est donc nécessaire d'adopter des cibles, mesures et indicateurs d'adaptation concrets et comparables à ceux employés dans la lutte aux CC.

La présente revue de littérature constitue une pierre d'assise pour guider la production d'un second rapport complémentaire visant la compréhension des acteurs impliqués dans le domaine de l'adaptation aux CC. Ce second rapport a été réalisé à l'aide d'entretiens semi-dirigés et d'un sondage auprès d'experts provenant du milieu scientifique et municipal, et des organismes non gouvernementaux. Les recommandations qui

émanent du présent rapport seront révisées après les entretiens avec les experts locaux consultés dans la suite de l'étude. Ensemble, ces deux rapports permettront de consolider le déploiement des mesures d'adaptation au Québec.



5

RÉFÉRENCES

- Bernatchez, P., & Fraser, C. (2012). Evolution of coastal defence structures and consequences for beach width trends, Québec, Canada. *Journal of coastal research*, 28(6), 1550-1566.
- Beucher, S. (2008). La gestion des inondations en Angleterre : la mise en place d'un système efficace de gouvernance du risque?, *L'information géographique*, 72(4), 27-43.
- Bouchard, C., Dibernardo, A., Kofi, J., Wood, H., Leighton, P. A., & Lindsay, L. R. (2019). Augmentation du risque de maladies transmises par les tiques dans le contexte des changements climatiques et environnementaux. *Relevé des maladies transmissibles au Canada*, 45(4), 89-98.
- Bresson, É., Laprise, R., Paquin, D., Thériault, J. M., & de Elía, R. (2017). Evaluating the ability of CRCM5 to simulate mixed precipitation. *Atmosphere-Ocean*, 55(2), 79-93.
- C. Rosenzweig et W. Solecki (Editeurs). (2013) New York City Panel on Climate Change, 2013: Climate Risk Information 2013: Observations, Climate Change Projections, and Maps. , NPCC2. Prepared for use by the City of New York Special Initiative on Rebuilding and Resiliency, New-York, New York.
- Credit Valley Conservation (2014) Elm Drive, City of Mississauga Low impact Development Infrastructure Performance and Risk Assessment. 215p. (en ligne) https://cvc.ca/wp-content/uploads/2015/04/ElmReport_01042015-web.pdf (consulté le 27/03/20)
- DC Water and Sewer Authority (2015) Long Term Control Plan Modification for Green Infrastructure, District of Columbia, Water and Sewer Authority, Washington, DC.
- D'Ercole R. (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine*, 82(4), 87-96.
- Donatti, C. I., Harvey, C. A., Hole, D., Panfil, S. N., & Schurman, H. (2019). Indicators to measure the climate change adaptation outcomes of ecosystem-based adaptation. *Climatic Change*, 1-21.
- Donze J. (2007). Le risque : de la recherche à la gestion territorialisée. *Géocarrefour*, 82, 3-5.
- Environnement Canada. (2017) Les dix événements météorologiques les plus marquants de 1998. (en ligne) <https://ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=3DED7A35-1> (consulté le 26/03/20)
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758.
- GAO (U.S. Government Accountability Office) (2016) GAO-16-454 Climate Change - Selected governments have approached adaptation through laws and long term plans. 31pp.
- Hamill, A., Dekens, J. (2014) Repository of adaptation indicators. Rapport préparé pour Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (Allemagne). Bonn. 74pp. (URL) https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=221 (consulté le 20/02/20).
- Hénault-Ethier, L., M. Fortin-Faubert, M. Le Berre, S. Perron, M. Waridel, L. Gobeille, G. Grégoire, J. Brisson, P. Gosselin, F. Reeves et J. Elsener. (2021) Enjeux stratégiques de déploiement des infrastructures naturelles et des phytotechnologies. Volume III. Changements climatiques au Québec: s'adapter pour un meilleur avenir. Fondation David Suzuki. 32 p. <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/changements-climatiques-au-quebec-volume-3/>

- Holden, M. (2006). Urban indicators and the integrative ideals of cities. *Cities*, 23(3), 170-183
- Invasive Species Council of BC (2012) Invasive Species Strategy for British Columbia. Vancouver, BC. 28pp. (URL) https://www.bcinvasives.ca/documents/IS_Strategy_for_BC_Final_2012_06_07_print_sm.pdf (consulté le 20/02/20).
- Invasive Species Council of BC (2017) Monitoring for Success of the Invasive Species Strategy for British Columbia - 2012-2016 executive summary report. Vancouver, BC. 7pp. (URL) https://www.bcinvasives.ca/documents/Monitoring_For_Success_2012-2016_Exec_Summary_170725_Final.pdf (consulté le 20/02/20).
- Invasive Species Council of BC (2017b) Invasive Species Strategy for British Columbia (2018-2022). Vancouver, BC. 12pp. (URL) https://www.bcinvasives.ca/documents/Invasive_Species_Strategy_for_BC-2018-180117-WEB.pdf (consulté le 20/02/20).
- (IPCC) Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Dubash, N. K. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (p. 151).
- Klopp, J. M., & Petretta, D. L. (2017). The urban sustainable development goal: Indicators, complexity and the politics of measuring cities. *Cities*, 63, 92-97.
- Jacob, K., Blake, R., Horton, R., Bader, D., & O'Grady, M. (2010). Indicators and monitoring. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1196(1), 127-142.
- Landry, F. et L. Hénault-Ethier (2021). Changements climatiques au Québec : s'adapter pour un meilleur avenir. Volume I. Revue de littérature des indicateurs et études de cas pour inspirer les municipalités à agir. Fondation David Suzuki. P39. <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/changements-climatiques-au-quebec-volume-1>.
- Landry, F., O. Tanguy, V. Dumais-Lalonde, F. Maure, Katrine Turgeon, L. Hénault-Ethier and J. Dupras (2021). Changements climatiques au Québec: s'adapter pour un meilleur avenir. Définir les objectifs de l'adaptation aux changements climatiques et les stratégies pour les atteindre. Volumell.FondationDavidSuzuki.63p.<https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/changements-climatiques-au-quebec-volume-2>.
- Larsen, K. (editor), Espinosa, p., Hart, D., Jacob, O., ..., Thomson, P. (2019) Climate Change Strategies 2020. Climate Technology Centre and Network.
- Lemmen, D.S., F.J.Warren, J. Lacroix et E. Bush (éditeurs). Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007, Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, 448 p.
- Mailhot, A., S. Duchesne, D. Caya et G. Talbot. (2007) Assessment of future change in intensity-duration-frequency curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model. *Journal of Hydrology*, 347(1-2) p. 197-210.
- Mengel, M., Levermann, A., Frieler, K., Robinson, A., Marzeion, B., & Winkelmann, R. (2016). Future sea level rise constrained by observations and long-term commitment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(10), 2597-2602.
- Metro Vancouver (2014) Monitoring and Adaptive Management Framework for Stormwater. Vancouver, BC. 112pp. (URL) http://www.metrovancouver.org/services/liquid-waste/LiquidWastePublications/Monitoring_Adaptive_Management_Framework_for_Stormwater.pdf (consulté le 20/02/20).
- Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (2019) Plan stratégique 2019-2013. 22p. ISBN 978-2-550-85252-0.
- Moreno Pires, S., Fidélis, T., & Ramos, T. B. (2014). Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice 39.(pp. 1-9), 1-9.
- ND-GAIN (2017) Notre Dame University Global Adaptation Initiative - Urban Adaptation Assessment. Notre-Dame, Indiana. 2pp. (URL) https://gain.nd.edu/assets/256491/new_uaa_indicator_list.pdf (consulté le 20/02/20)
- Niemeijer, D. (2002). Developing indicators for environmental policy: data-driven and theory-driven approaches examined by example. *Environmental Science & Policy*, 5(2), 91-103.

- NYC Service - Department of buildings (2013) NYC CoolRoofs Annual Review 2013. New-York, New-York, 2013.
- Ogden, N. H., Radojevic, M., Wu, X., Duvvuri, V. R., Leighton, P. A., & Wu, J. (2014). Estimated effects of projected climate change on the basic reproductive number of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis*. *Environmental health perspectives*, 122(6), 631-638.
- Ouranos (2010) Savoir s'adapter aux changements climatiques. rédaction : C. DesJarlais, M. Allard, A. Blondlot, A. Bourque, D. Chaumont, P. Gosselin, D. Houle, C. Larrivée, N. Lease, R. Roy, J.-P. Savard, R. Turcotte et C. Villeneuve, Montréal, 128 p.
- Porter, I. (2019) Les exilés de l'érosion des berges du Saint-Laurent. (URL) <https://www.ledevoir.com/societe/environnement/557735/les-exiles-de-l-erosion-demenager-ou-attendre-la-tempete> (consulté le 20/02/2020)
- Richardson, G. R. A. (2010) S'adapter aux changements climatiques : Une introduction à l'intention des municipalités canadiennes. Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario.
- Stadelmann, M., Michaelowa, A., Butzengeiger-Geyer, S., & Köhler, M. (2011). Universal metrics to compare the effectiveness of climate change adaptation projects. In Colorado Conference on Earth System Governance: Crossing Boundaries and Building Bridges (pp. 17-20).
- Statistique Canada (2004) The St. Lawrence River Valley 1998 ice storm: maps and facts. 17p. (en ligne) <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/pub/16f0021x/4194604-eng.pdf?st=yvxUYYp7>
- Strom, S., Nathan, K., & Woland, J. (2013). Site engineering for landscape architects. John Wiley & Sons.
- UK Environmental Agency (2012) Thames estuary 2100. Londres. 230p. (en ligne) https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/322061/LIT7540_43858f.pdf
- UN SDGs (2019) Cadre mondial d'indicateurs relatifs aux objectifs et aux cibles du Programme de développement durable à l'horizon 2030. 24pp. (URL) https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202019%20refinement_Fre.pdf (consulté le 20/02/20)
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2020) What do adaptation to climate change and climate resilience mean? (URL) <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/what-do-adaptation-to-climate-change-and-climate-resilience-mean#eq-6> (consulté le 20/02/2020)
- Ville de Montréal (2011) Plan d'action canopée 2012-2021. Montréal, Québec. 12 pp. (URL) https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS_PARCS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC_JUIN_2012_FINAL.PDF (consulté le 20/02/20)
- Ville de Montréal (2015) Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020. Sous la direction de Roger Lachance, Service de l'environnement. 262 p.
- Ville de Paris (2017) Stratégie de Résilience de Paris. Paris. 65p. (en ligne) <https://cdn.paris.fr/paris/2020/02/26/957470743c8e4a66a88f5cc04a-7c8a21.ai> (consulté le 27/03/20)

