

LES INFRASTRUCTURES VERTES

Un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Montréal



Novembre 2015



Fondation
David
Suzuki

LES INFRASTRUCTURES VERTES :

UN OUTIL D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LE GRAND MONTRÉAL

Novembre 2015


Auteurs : Bronwyn Rayfield¹, Jérôme Dupras¹, Xavier Francoeur², Maria Dumitru³, Danielle Dagenais⁴, Jérémie Vachon⁴, Alain Paquette², Martin Lechowicz³, Christian Messier^{1,2}, Andrew Gonzalez³

¹ Institut des sciences de la forêt tempérée, Université du Québec en Outaouais;

² Université du Québec à Montréal; ³ Université McGill; ⁴ Université de Montréal

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier Jean-Patrick Toussaint et Karel Mayrand de la Fondation David Suzuki pour leurs commentaires et révisions, ainsi que Geneviève Duval pour la révision linguistique. Nous remercions aussi le Groupe de travail sur les infrastructures vertes et bleues du Centre de la Science de la Biodiversité du Québec.

Ce rapport a été rendu possible grâce à l'appui financier de Intact Corporation financière. 

AVERTISSEMENT

Le contenu de cette étude est la responsabilité de ses auteurs et ne reflète pas nécessairement les vues et les opinions des personnes dont la contribution est soulignée ci-dessus. Tous les efforts pour assurer l'exactitude des informations contenues dans cette étude ont été pris. Nous demeurons ouverts aux suggestions d'améliorations qui pourraient être incorporées dans les éditions ultérieures de cette étude.

Design graphique : Pete Tuepah et Nadene Rehnby handsonpublications.com

Couverture photos : Barnyz/Flickr (haut), Radomil/Wikimedia Commons, Aaron Volkening/Flickr, Friends of the High Line Park, et Ryan Somma/Wikimedia Commons

ISBN imprimé : 978-1-897375-94-5 – pdf : 978-1-897375-95-2

Ce rapport peut être téléchargé gratuitement à : davidsuzuki.org/fr/publications



Fondation
David
Suzuki

540 – 50, rue Sainte-Catherine Ouest, Montréal QC, H2X 3V4

Téléphone : 514-871-4932 Télécopieur : 514-871-9646

contact@davidsuzuki.org www.davidsuzuki.org/fr



Table des matières

SOMMAIRE	5
SUMMARY	7
SECTION 1 : INTRODUCTION.....	8
SECTION 2 : LE CONCEPT D'INFRASTRUCTURES VERTES	10
Un bref regard écologique, social et économique sur les infrastructures vertes.....	10
Des exemples d'infrastructures vertes ailleurs dans le monde	11
Berlin, Allemagne.....	12
Barcelone, Espagne.....	14
New York, États-Unis	16
Les infrastructures vertes en pratique dans le Grand Montréal	18
La diversité des arbres en ville : IDENT-Cité	19
Gestion des eaux pluviales de stationnements : Habitations Jeanne-Mance	20
Réduction des îlots de chaleur : école secondaire Calixa-Lavallée	21
Réduction des îlots de chaleur : Projet ILEAU.....	22
SECTION 3 UN RÉSEAU D'INFRASTRUCTURES VERTES DANS LE GRAND MONTRÉAL	23
Quelles pressions exerceront les changements climatiques sur le Montréal de demain?	23
Les éléments constituant les infrastructures vertes	26
Les bénéfices économiques des infrastructures vertes dans la CMM.....	26
Les acteurs des infrastructures vertes dans la CMM.....	27
La planification d'un réseau d'infrastructures vertes.....	29
Comment modéliser et analyser la connectivité de réseaux d'infrastructures vertes?	30
Prioriser des éléments du réseau pour la conservation et les services écosystémiques.....	31
SECTION 4 LA PLANIFICATION D'UN RÉSEAU D'INFRASTRUCTURES VERTES DANS LA CMM.....	33
Description des scénarios et des données utilisées	33
Scénario biodiversité	33
Scénario biodiversité et fraîcheur	36
Les priorités de conservation spatiales pour les scénarios d'infrastructures vertes	38
Les priorités de conservation du territoire pour le Scénario biodiversité	38
Les priorités de conservation du territoire pour le Scénario biodiversité et fraîcheur	40
Comparaison entre le Scénario biodiversité et le Scénario biodiversité et fraîcheur	41
SECTION 5 CONCLUSION	44
RÉFÉRENCES	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Statistiques sur les études de cas internationales.....	11
Tableau 2 : Sommaire des études de cas locales	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Changements projetés des températures estivales pour le Québec en 2050.....	24
Figure 2 : Changements projetés des températures hivernales pour le Québec en 2050	24
Figure 3 : Changements projetés des précipitations estivales pour le Québec en 2050.....	25
Figure 4 : Changements projetés des précipitations hivernales pour le Québec en 2050	25
Figure 5 : Carte des limites de la CMM dans un contexte régional plus large.....	34
Figure 6 : Cartes de la connectivité et de la qualité de l'habitat multi-espèces pour l'année 2000 utilisées comme intrants pour la priorisation de la conservation pour le Scénario biodiversité.....	35
Figure 7 : Modélisation de la température de surface dans les zones urbaines de la CMM avec une densité de population supérieure à 400 habitats par kilomètre carré.....	36
Figure 8 : a) Carte des îlots de fraîcheur, soit les boisés situés près des îlots de chaleur (sur la base des niveaux de température de surface 1, 2, 3 et 4); b) Inverse de la distance des forêts à l'îlot de chaleur le plus proche	37
Figure 9 : Cartes des priorités de conservation pour le Scénario biodiversité.....	38
Figure 10 : Carte des boisés et corridors forestiers métropolitains identifiés par la CMM dans le PMAD.....	39
Figure 11 : Cartes des priorités de conservation pour le Scénario biodiversité et fraîcheur.....	40
Figure 12 : Comparaison des priorités de conservation selon les a) Scénario biodiversité et b) Scénario biodiversité et fraîcheur	41
Figure 13 : Cartes montrant les différences entre les priorités de conservation selon le Scénario biodiversité et le Scénario biodiversité et fraîcheur	42
Figure 14 : Graphique comparant les performances des Scénarios biodiversité et biodiversité et fraîcheur	43



Sommaire

LES INFRASTRUCTURES VERTES (IV) REPRÉSENTENT l'ensemble des systèmes naturels et semi-naturels, de l'arbre à la trame verte, qui rendent des services essentiels au bien-être des individus et des communautés : de la lutte aux îlots de chaleur en passant par le contrôle des eaux de ruissellement et l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau. Ces services sont multiples et impactent positivement la qualité de l'environnement, la santé publique, le potentiel d'activités récréo-touristiques et ont un rôle important à jouer dans la gestion socio-économique des régions urbaines. À l'échelle du Grand Montréal, les milieux naturels et semi-naturels, qui constituent le cœur du réseau d'IV, sont toutefois affectés par une multitude de facteurs de pression comme les espèces invasives, la pollution des milieux, les changements climatiques et l'étalement urbain. Dans ce contexte actuel de pressions environnementales accrues, la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) dispose d'une fenêtre d'opportunité limitée pour protéger son réseau d'IV lui permettant de répondre aux besoins actuels et futurs des citoyens et de la biodiversité. Avec seulement 20% de couvert forestier et moins de 1% de milieux humides, l'arrangement spatial des milieux naturels restants dans la CMM est crucial pour assurer le maintien de la biodiversité et des services écosystémiques associés.

En ce sens, après avoir défini le concept d'IV et présenté des exemples de son utilisation à l'échelle locale et internationale, cette étude propose une stratégie pour mettre en place un réseau interconnecté d'IV pouvant améliorer la qualité de l'environnement et le bien-être humain à long terme à l'intérieur de la CMM. L'utilisation du principe de connectivité écologique pour organiser la planification des milieux naturels et des espaces verts nous permet à la fois de créer un réseau plus robuste et résilient face aux changements climatiques et identifier les zones prioritaires de conservation pour favoriser deux services : la conservation de la biodiversité et la lutte aux îlots de chaleur. L'approche que nous proposons permet donc de distinguer les espaces qui représentent des priorités de conservation dans la perspective d'une protection de 17% du territoire de la CMM. De plus, elle se prête également à l'inclusion de divers autres services, tels le contrôle des eaux de ruissellement ou la production alimentaire locale.



Cette étude propose une stratégie pour mettre en place un réseau interconnecté d'infrastructures vertes (IV) pouvant améliorer la qualité de l'environnement et le bien-être humain à long terme à l'intérieur de la CMM.

PHOTOS ROGER NELSON/Flickr (HAUT)
ET MONONC PAUL/Flickr (BAS)

Téléchargez les rapports
de la Fondation David
Suzuki à [david Suzuki.
org/fr/publications](http://david Suzuki.org/fr/publications)



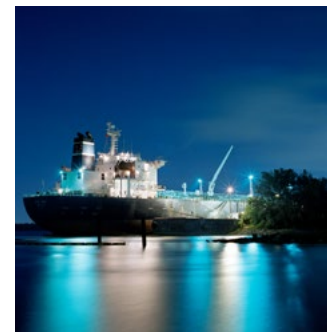
Nos résultats montrent que les milieux naturels ne produisent pas tous les mêmes services et que cette production variée dépend de leur qualité, leur environnement immédiat et leur localisation au sein de la CMM. Ainsi, face à des contraintes économiques, réglementaires et politiques, les décideurs doivent souvent faire des choix dans les milieux à conserver. Faut-il investir dans les espaces verts pour protéger la biodiversité ou pour améliorer la santé publique? Devant ces choix difficiles, notre étude montre que plus le réseau interconnecté de milieux naturels est protégé, plus il génère davantage des co-bénéfices (c.-à-d. plusieurs services à la fois) et diminue ainsi les choix qui doivent être faits en matière d'investissement dans la protection de l'environnement. Nous concluons que la mise en place d'un réseau interconnecté d'IV répondrait à une demande sociale, environnementale et économique et permettrait à la Ville de Montréal et la CMM de remplir ses engagements à l'échelle régionale, provinciale et internationale en matière de lutte aux changements climatiques et préservation de la biodiversité.

Summary

GREEN INFRASTRUCTURE (GI) REPRESENTS THE SET OF NATURAL and semi-natural ecosystems that provide essential services to the well-being of individuals and communities: from heat island abatement, stormwater management and local food production to water and air quality improvement. The numerous services provided by GI play an important role in socio-economic management of urban areas because of their positive impacts on the quality of the environment, the health of city residents and opportunities for recreational activities. At the scale of Greater Montreal, the green spaces that make up the core of the GI system are affected by a multitude of stressors such as invasive species, pollution, climate change and urban sprawl. In this context, the Montreal Metropolitan Community (MMC) has a limited window of opportunity to protect a network of GI that will meet both human and biodiversity needs in a changing climate. With only 20 per cent of forest cover remaining in the MMC, we are now below the threshold whereby the spatial arrangement of the remaining forest is critical to the persistence of its biodiversity and provisioning of ecosystem services.

This study proposes a strategy to establish a network of interconnected GI that can improve the quality of the environment and human well-being in the long term within the MMC. The strategy is based on an extensive review of the GI literature that is presented along with local and international case studies of GI implementation and governance in practice. The guiding principle of our GI planning strategy is ecological connectivity because increasing the connectivity among natural and semi-natural areas will result in a more robust GI network that can continue to function and provide services in the event of climatic changes. Our approach identifies priority conservation areas that promote two services, biodiversity conservation and heat island abatement, but can easily be applied to incorporate additional socioeconomic and environmental objectives of GI. We demonstrate this connectivity-based approach to produce a ranked list of priority areas to be included in a GI network that covers 17 per cent of the MMC.

Our results show that natural and semi-natural areas do not all produce the same services and that this varied production depends on their quality, their immediate environmental surroundings and their position within the GI network of the MMC. Therefore, in the face of economic, regulatory and political constraints, policy-makers often have to make choices about the areas and services to be protected. Should we invest in green spaces to protect biodiversity or to improve public health? Faced with these difficult choices, our study shows that the more area that is included within the GI network, the better the network will be at delivering multiple services for the well-being of humans and the environment. We conclude that the development of a GI network will address the grassroots demand for sustainable cities and will help us meet city, provincial and international responsibilities for climate change mitigation and biodiversity conservation.



This study proposes a strategy to establish a network of interconnected green infrastructures (GI) that can improve the quality of the environment and human well-being in the long term within the MMC.

PHOTOS : OKNIDIOUS/FLICR (HAUT)
ET MONONC PAUL/FLICR (BAS)



Introduction

Le mouvement des villes vertes vise un développement durable dans lequel les villes restent économiquement productives tout en fournissant des avantages environnementaux et sociaux aux résidents.

PHOTO : STUDIOE6/FLICKR

LES VILLES SONT DES SYSTÈMES COMPLEXES qui prennent forme selon un enchevêtrement de processus économiques, sociaux et écologiques interconnectés. Ce sont des centres de croissance économique, d'influence culturelle et où l'on note une forte demande en terme de ressources. Elles sont également d'importantes sources d'impacts environnementaux, représentant à cet effet environ 70% de la consommation mondiale d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie (Seto et Dhakal, 2014). Les villes et les zones péri-urbaines logeront environ 60% de la population mondiale d'ici 2030 (Seto et Dakhal, 2014) et la majorité des infrastructures permettant d'accueillir cette population devrait être construite entre 2000 et 2030 (Elmqvist et al., 2013). Les enjeux environnementaux, sociaux et économiques liés à cette croissance démographique sont donc très élevés, d'autant plus que les changements climatiques menacent les populations et les infrastructures urbaines en raison notamment de la hausse du niveau des mers, de l'augmentation des précipitations, de la violence et la fréquence des tempêtes et des périodes de chaleur et de froid plus extrêmes.

Un mouvement mondial pour des villes plus vertes est actuellement en cours et cherche à répondre de façon responsable et durable à la croissance des zones urbaines (Birch et Wachter, 2008). Le mouvement des villes vertes vise un développement durable dans lequel les villes restent économiquement productives tout en fournissant des avantages environnementaux et sociaux aux résidents. Une importante littérature scientifique démontre à cet effet les avantages des espaces verts dans les villes, à la fois pour l'environnement et la santé humaine, notamment en termes de qualité de l'air et de l'eau, de gestion des eaux de ruissellement, d'économies d'énergie et de réduction des îlots de chaleur (MEA, 2005 ; TEEB, 2010).

Les infrastructures vertes (IV) représentent une approche stratégique de verdissement et d'écologisation des villes qui dépassent le concept de Ceinture verte (Dupras et al., 2015a). Les IV peuvent se définir comme étant un réseau interconnecté d'espaces verts, comprenant les zones naturelles et semi-naturelles, dispersés dans une région métropolitaine qui permet de maintenir le fonctionnement des écosystèmes et des bénéfices qu'ils fournissent aux populations humaines (Benedict et McMahon, 2002 ; Austin, 2014). Les nombreux avantages des réseaux d'infrastructures vertes incluent notamment la gestion des eaux pluviales, le support à la biodiversité, la purification de

l'air, la réduction des émissions de CO₂, et la régulation des températures urbaines. Les réseaux d'IV s'appuient sur les espaces verts urbains et péri-urbains et augmentent la fonctionnalité et la connectivité de l'écosystème régional dans son ensemble. La résilience du réseau d'IV est renforcée par sa connectivité, qui a un effet stabilisateur sur les nombreuses fonctions et services des écosystèmes [Mitchell et al., 2013]. Les régions métropolitaines à travers le monde sont actuellement confrontées au défi de concevoir et d'appliquer des réseaux d'IV qui soient rentables et qui puissent élargir et coordonner la gestion des espaces verts existants afin d'accroître leur résilience, leur durabilité et la qualité de vie des citoyens.

La Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) compte sur un important réseau d'IV (e.g. forêts urbaines, parcs, espaces verts, milieux humides) qui améliore la performance des infrastructures grises (c.-à-d. construites par l'être humain) et participe activement à la gestion des eaux pluviales, la régulation des températures, tout en offrant des possibilités de loisirs. Une récente étude estime à 2,2 milliards de dollars par année la contribution des écosystèmes à la qualité de vie des communautés dans la région [Dupras et al., 2015b]. Des progrès ont été accomplis en vue de coordonner la planification et la gestion des IV comme en témoigne le Plan métropolitain d'aménagement et de développement (PMAD) qui comprend la création d'une ceinture et trame verte et bleue et l'identification des forêts exceptionnelles et des corridors forestiers d'importance [CMM, 2011]. Il est toutefois de l'avis de plusieurs que face aux pressions démographiques et aux changements climatiques, les IV doivent jouer un rôle encore plus important dans le développement futur de la CMM, avec un accent tout particulier sur la protection absolue et l'interconnexion des milieux naturels. En ce sens, ce rapport vise d'abord à fournir un tour d'horizon sur la nature et le rôle des IV en milieu urbain et ensuite à présenter une méthode de conception de réseaux d'IV multifonctionnels pour la CMM fondée sur des principes d'analyse spatiale et de hiérarchisation des priorités de conservation [Rayfield et al., 2015; Snäll et al., 2015].

L'objectif central de cette étude est d'identifier les stratégies et les orientations pour la conception et la réalisation d'un réseau d'IV dans la CMM, dans une optique d'adaptation et de résilience face aux changements climatiques. Trois sous-objectifs en découlent :

1. *Survoler de la littérature pertinente sur les IV au sein de la CMM et dans d'autres régions métropolitaines ;*
2. *Définir les caractéristiques environnementales, économiques et sociales qui justifient le recours aux IV pour le développement durable de la grande région de Montréal ;*
3. *Présenter une méthode d'identification d'un réseau d'IV multifonctionnel et développer des scénarios qui mettent en valeur l'application de la méthode dans la CMM.*



La Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) compte sur un important réseau d'infrastructures vertes (e.g. forêts urbaines, parcs, espaces verts, milieux humides) qui améliore la performance des infrastructures grises (c.-à-d. construites par l'être humain) et participe activement à la gestion des eaux pluviales, la régulation des températures, tout en offrant des possibilités de loisirs.

PHOTO : CHRISTOPHER CHARLES/FLICR

Le concept d'infrastructures vertes



L'objectif ultime des IV est de contribuer à maintenir et améliorer la santé et le bien-être général des citoyens et de l'environnement.

PHOTO : AARON VOLKENING FLICKR

Un bref regard écologique, social et économique sur les infrastructures vertes

LES INFRASTRUCTURES VERTES (IV) REPRÉSENTENT un concept relativement récent et leurs définitions, multiples, ont grandement évolué dans les dernières années. Selon Young et al (2014), les IV sont :

« ... un système complexe comprenant des éléments sociaux et écologiques variés qui évoluent face aux défis locaux ou globaux, tels que les inondations, les effets des îlots de chaleur urbains, les changements climatiques, les problématiques de santé publique. Les moteurs et acteurs varient selon les régions et selon les priorités sociales des citoyens. Par surcroît, les infrastructures vertes ont la capacité de transformer et d'ouvrir le système anthropomorphe pour qu'il inclue les dynamiques écologiques dans la production de produits et services utiles aux humains. Pour être considérés comme une infrastructure verte, un système et ses éléments doivent fournir des biens et services et cet aspect est primordial à la définition du concept » (traduction libre).

L'objectif ultime des IV est de contribuer à maintenir et améliorer la santé et le bien-être général des citoyens et de l'environnement (Austin, 2014). De manière plus spécifique, son rôle est d'assurer et de fournir les services écosystémiques, de préserver et augmenter la biodiversité et la connectivité des habitats. L'infrastructure verte se veut aussi un outil visant à encadrer et définir la croissance et la forme urbaine à travers les différentes échelles (Austin, 2014). Les prochaines sections visent à présenter des exemples d'IV à l'échelle internationale et du Grand Montréal.

Des exemples d'infrastructures vertes ailleurs dans le monde

NOUS PRÉSENTONS DANS CETTE SECTION trois études de cas de villes qui utilisent des approches de gouvernance et de planification du territoire alternatives et qui ont intégré avec succès les IV à la planification et l'aménagement de leur territoire. Certains modèles d'IV ont été pensés pour fournir une multitude de services écosystémiques, alors que d'autres se concentrent sur un service spécifique, tel la gestion des eaux de ruissellement, et considèrent les autres services générés comme des co-bénéfices. Ces exemples montrent qu'il n'y a pas une façon meilleure qu'une autre de planifier les IV, mais que celles-ci doivent être intégrées aux contextes socio-environnementaux dans lesquels elles seront appliquées. Les études de cas fournissent un regard sur la planification des IV à l'échelle des villes et des régions de différentes tailles, densité de population, contextes géographiques et d'espaces verts (Tableau 1).

Les études de cas fournissent un regard sur la planification des IV à l'échelle des villes et des régions de différentes tailles, densité de population, contextes géographiques et d'espaces verts.

TABLEAU 1 : STATISTIQUES SUR LES ÉTUDES DE CAS INTERNATIONALES

Ville	Région	Pays	Population (en millions)		Densité (hab./km ²)		Espaces verts per capita (m ² /hab.)
			Ville	Région	Ville	Région	
Montréal ^{1,2}	Communauté Métropolitaine de Montréal	Canada	1,7	3,8	4 518	898	12,00
Barcelone ³	Àrea Metropolitana de Barcelona	Espagne	1,6	4,9	17 138	2741	2,96
Berlin ³	Région métropolitaine de Berlin-Brandebourg	Allemagne	3,5	5,1	3 936	292	16,82
New York ^{4,5}	Metropolitan statistical area	Étas-Unis	8,5	20,1	10 756	583	18,61

¹ Montreal. (2015). In Wikipedia, The Free Encyclopedia de <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Montreal&oldid=684779104>

² Ville de Montréal (2004) Policy on the protection and enhancement of natural habitats http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/nature_en_ville_en/media/documents/ppmnang060123.pdf

³ Green Surge project Report on Case Study City Portraits (Rieke et al. 2015)

⁴ New York. (2015). In Wikipedia, The Free Encyclopedia de https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=New_York&oldid=684765234

⁵ The Trust for Public Land (2014) City Park Facts https://www.tpl.org/sites/default/files/files_upload/2014_CityParkFacts.pdf



Berlin est connue pour ses réussites dans la protection et la transformation de terrains vacants, tels que les zones de chemin de fer ou des aéroports, en parcs publics.

BERLIN PHOTO : NASA

BERLIN, ALLEMAGNE

OBJECTIFS ET STRATÉGIES DE L'INFRASTRUCTURE VERTE

Les principaux objectifs de la planification de l'IV de Berlin sont la protection de la biodiversité et la création de réseaux d'habitats (Programme de protection des espèces et des paysages et Stratégie de la biodiversité de Berlin), ainsi que l'adaptation au changement climatique (Plan de développement urbain pour le climat). Une importance particulière est également accordée à la pertinence sociale des espaces verts urbains et aux nouvelles stratégies capables d'augmenter la qualité et la robustesse des espaces verts urbains (par exemple, la Stratégie des paysages urbains de Berlin et le Programme pour les forêts mixtes). La multifonctionnalité est un autre thème fort relatif aux IV dans les documents de planification de Berlin. Par exemple, le Programme de protection des espèces et des paysages discute des diverses fonctions des IV, dont la régulation du climat, l'approvisionnement en eau potable, l'habitat pour la biodiversité et les possibilités de loisirs et de tourisme. Dans l'avenir, les plans d'IV de Berlin porteront également sur la restauration des parcs et de la gestion de l'eau dans le contexte des changements climatiques.

Berlin est connue pour ses réussites dans la protection et la transformation de terrains vacants, tels que les zones de chemin de fer ou des aéroports, en parcs publics. L'ancien aéroport Tempelhofer Feld (3km²) en est un exemple phare. La ville encourage diverses activités de verdissement sur les terrains vagues, tels que les jardins, l'agriculture de subsistance et l'agriculture commerciale urbaine (Stratégie des paysages urbains de Berlin). La participation des citoyens et des entreprises privées dans la mise en œuvre et la maintenance de l'IV est fortement encouragée. Un exemple d'une participation du public est la campagne « Des arbres urbains pour Berlin » qui vise à amasser des fonds pour assurer la plantation de 10 000 arbres supplémentaires dans la ville entre 2012 et 2017.

SURVOL DE LA PLANIFICATION DES INFRASTRUCTURES VERTES

La planification en Allemagne est largement influencée par les plans officiels et les instruments régulateurs. Berlin mène sa planification régionale avec l'État de Brandenburg, qui l'entoure, conformément à la stratégie nationale (Programme national de développement de la région Berlin-Brandenburg). La planification régionale a conduit à la mise en place d'une chaîne de huit parcs régionaux en 1998 pour protéger le paysage périurbain entourant Berlin contre l'étalement urbain et pour préserver les zones paysagères à des fins récréatives.

Au niveau de la ville, le Programme de protection des espèces et du paysage garantit légalement la qualité de l'environnement dans la ville. Berlin a en plus mis en place un certain nombre de plans non statutaires qui ont



trait à des aspects de la planification de l'IV, tels que les espaces verts (Stratégie des paysages urbains de Berlin), la protection de la biodiversité (Stratégie de la biodiversité de Berlin) et l'adaptation aux changements climatiques (Plan de développement urbain pour le climat). Au niveau du district (c.-à-d. équivalent des arrondissements), la planification et la gestion des espaces verts urbains sont gérées par les départements du développement urbain qui se basent sur les plans paysagers de la circonscription (ordonnances) qui sont des applications locales du Programme de protection des espèces et des paysages.

Un instrument fiscal important ayant permis d'améliorer les IV de Berlin est la réglementation fédérale sur la réduction des impacts et la compensation qui assure une compensation financière pour la perte d'espaces ouverts en raison du développement. Cet instrument a été particulièrement important dans le financement du réseau de l'habitat et de loisirs composé de deux ceintures et deux axes-réseaux.

POINTS SAILLANTS

Berlin

- Planification à l'échelle régionale pour créer un réseau d'habitats naturels pour la biodiversité et pour les activités récréatives
- Un programme de compensation est utilisé pour financer la planification stratégique et la mise en œuvre du projet
- La protection de la biodiversité est une partie importante de la planification locale et régionale
- De nouveaux parcs sont créés par la conversion de terrains vacants



La planification régionale de l'IV consiste en deux ceintures de parcs connectées par deux axes en forme de croix

Source : Senate Department for Urban Development and the Environment. Ressources supplémentaires : ¹Biodiversity Strategy Berlin : Berliner Strategie zur Biologischen Vielfalt (2012), stadtentwicklung.berlin.de; Hansen, R., Buijs, A., Mattijssen, T., DeBellis, Y., Rall, E., Pauleit, S. (2015), Report of case study city portraits, Green Surge, University of Copenhagen, greensurge.eu/filer/GREEN_SURGE_Report_of_City_Portraits.pdf; Landscape and Species Protection Program : Landschaftsprogramm/Artenschutzprogramm (1994/2004), stadtentwicklung.berlin.de; State Development Programme for the Berlin-Brandenburg Region : Landesentwicklungsprogramm der Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg (2007), gl.berlinbrandenburg.de/landesentwicklungsplanung/plaene/lepro.html; Urban Landscape Strategy Berlin : Strategie Stadtlandschaft Berlin (2012), stadtentwicklung.berlin.de; Urban Development Plan Climate : Stadtentwicklungsplan Klima (2011), stadtentwicklung.berlin.de; Programme for Mixed Forests : Mischwaldprogramm, stadtentwicklung.berlin.de/forsten/waldpflege/mischwaldprogramm/



L'infrastructure verte de Barcelone est conçue comme un réseau d'espaces de végétation naturelle, agricole, publique ou privée, et qui offre une multitude de services environnementaux et sociaux.

BARCELONE PHOTO : OLIVER-BONJOCH/WIKIMEDIA COMMONS

BARCELONE, ESPAGNE

OBJECTIFS ET STRATÉGIES DE L'INFRASTRUCTURE VERTE

Les objectifs régionaux de l'aménagement des espaces verts sont la préservation des terres agricoles et la protection de l'environnement. La préservation des forêts et le renforcement de la connectivité des zones boisées sont également des objectifs importants, comme indiqué dans la déclaration du Parc naturel de Collserola. Les objectifs en termes d'IV pour la ville sont définis par le Plan de l'infrastructure verte et de la biodiversité et comprennent la préservation et la valorisation du patrimoine naturel de la ville et de sa biodiversité, ainsi que la volonté d'accroître le réseau d'IV et de veiller à sa connectivité. L'augmentation de la connectivité avec des couloirs est l'un des principaux objectifs de la stratégie. En effet, l'IV est conçue comme un réseau d'espaces de végétation naturelle, agricole, publique ou privée, et qui offre une multitude de services environnementaux et sociaux. Le plan précise que les services environnementaux et sociaux sont améliorés grâce à la connectivité. Le plan met l'accent sur la multifonctionnalité de l'IV à travers les différents types d'espaces verts urbains tels que les forêts, des parcs ou des jardins potagers. L'éducation est présentée comme un élément essentiel de la mise en œuvre de l'IV afin d'augmenter la valorisation des services fournis.

SURVOL DE LA PLANIFICATION DES INFRASTRUCTURES VERTES

La planification régionale de l'IV pour Barcelone et ses environs est définie dans le Plan directeur métropolitain (légalement contraignant) et la loi d'urbanisme de la Catalogne. Les zones désignées pour la protection de la nature sont gérées par des instances administratives indépendantes, telles que le Consortium du Parc naturel de Collserola, qui planifie et gère les montagnes voisines de Collserola.



Au niveau de la ville, le Plan directeur métropolitain et la loi d'urbanisme fournissent également des règlements obligatoires pour la protection et l'amélioration des espaces verts. En outre, le ministère de l'habitat urbain de Barcelone a récemment publié un plan stratégique à long terme pour la production de services sociaux et environnementaux : le Plan de l'infrastructure verte et de la biodiversité.

POINTS SAILLANTS

Barcelone

- Plan stratégique à l'échelle de la ville pour le développement d'une IV
- Objectifs de connectivité définis à l'échelle de la ville et de la région
- IV conçue pour fournir des services environnementaux et sociaux



Plan de biodiversité et d'IV pour Barcelone en 2020

Source : *Barcelona Green Infrastructure and Biodiversity Plan 2020*, Barcelona City Council. Ressources supplémentaires : *Collserola Natural Park Statement : Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya [2010]* : *Decret 146/2010 Parc Natural de la Serra de Collserola*, gencat.cat/eadop/imatges/5745/10287138.pdf; *Green Infrastructure and Biodiversity Plan : Ajuntament Barcelona [2013]*, *Pla del Verd i la Biodiversitat*, http://w110.bcn.cat/MediAmbient/Continguts/Documents/Documentacio/BCN2020_GreenInfrastructureBiodiversityPlan.pdf; *Hansen, R., Buijs, A., Mattijssen, T., DeBellis, Y., Rall, C., Pauleit, S. (2015), Report of case study city portraits*, *Green Surge*, University of Copenhagen, greensurge.eu/filer/GREEN_SURGE_Report_of_City_Portraits.pdf; *Metropolitan Master Plan [1976]*, *Pla General Metropolità*, http://w110.bcn.cat/portal/site/Urbanisme/menuitem.38ead442d60e56329fc59fc5a2ef8a0c/?vgnnextoid=3edf408f99e48210VgnVCM10000074fea8c0RCRD&lang=ca_ES; *Urban Planning Law of Catalonia : Text refós de la llei d'urbanisme 1/2010, i llei 3/2012*, http://territori.gencat.cat/web/.content/home/01_departament/normativa_i_documentacio/documentacio/territori_mobilitat/urbanisme/publicacions/text_refos_i_reglament_de_la_llei_durbanisme/ql-94urbanisme2.pdf



À New York, la sensibilisation et l'éducation du public sont un aspect important du programme et ont inclus des activités stimulantes telles que des partenariats pour des cours d'école vertes et un programme d'éducation appelé *BioswaleCare* qui offre des ateliers au public sur la façon dont les rigoles de drainage fonctionnent et comment aider à les maintenir.

NEW YORK PHOTO WOO/
WIKIMEDIA COMMONS

NEW YORK, ÉTATS-UNIS

OBJECTIFS ET STRATÉGIES DE L'INFRASTRUCTURE VERTE

L'objectif du Programme d'IV est de réduire les débordements d'égoûts unitaires par la gestion des eaux de ruissellement. Le programme a mis l'accent sur les six principaux types d'IV pour la gestion des eaux pluviales : des rigoles de drainage, des zones de biorétention plus grandes, un revêtement poreux pour les routes et stationnements, des milieux humides artificiels, des toits bleus et verts. La sensibilisation et l'éducation du public sont un aspect important du programme et ont inclus des activités stimulantes telles que des partenariats pour des cours d'école vertes et un programme d'éducation appelé *BioswaleCare* qui offre des ateliers au public sur la façon dont les rigoles de drainage fonctionnent et comment aider à les maintenir.

Malgré cet accent mis sur la gestion des eaux pluviales, d'autres avantages environnementaux, sociaux et économiques de l'IV sont également évalués et promus, tels que la réduction des effets d'îlots de chaleur urbains, l'amélioration de la qualité de l'air et la création d'emplois verts dans la construction et l'entretien. L'Unité pour l'IV a été créée en 2010 pour étendre le programme *Greenstreets* portant sur la promotion des IV dans les zones inutilisées des routes et les zones industrielles pour favoriser une multitude de services tels que l'embellissement des communautés, l'amélioration de la qualité de l'air, la réduction des îlots de chaleur et l'amélioration de la sécurité en raccourcissant les distances de traverses de rue et en ralentissant la circulation. Plusieurs de ces autres fonctions de l'IV conçues pour la gestion des eaux pluviales sont maintenant décrites en tant que co-avantages. En 2014, le DEP a lancé un calculateur de ces co-bénéfices afin de permettre aux utilisateurs de quantifier les bénéfices de six principaux types d'infrastructure verte (*NYC Green Infrastructure Co-Benefits Calculator*). Les co-bénéfices quantifiés par le calculateur sont : la séquestration du carbone, l'atténuation des îlots de chaleur, la réduction de la demande d'énergie, l'habitat urbain, la qualité de l'air, la qualité de vie, la réduction des besoins de traitement des eaux pluviales et les emplois verts.

Le programme *MillionTreesNYC* du Département des parcs et loisirs vise à planter des arbres dans toute la ville et à éduquer le public sur la façon de prendre soin des arbres urbains. Le Département des parcs et loisirs gère ce programme et beaucoup d'autres projets sur la gestion des arbres urbains et les espaces naturels. Le système de parc a encouragé les partenariats publics et de responsabilité partagée et bénéficie maintenant de l'aide de nombreuses organisations partenaires qui ont fourni des volontaires et des ressources pour les parcs de New York. Par exemple, le *Central Park Conservancy* détient une responsabilité partagée pour le maintien de Central Park, ainsi que pour la collecte de fonds pour l'amélioration des immobilisations.

Un ajout notable au réseau d'IV et des parcs de New York est le parc *High Line*, une voie verte au sommet d'une ancienne voie ferrée surélevée qui dispose de nombreuses plantes indigènes et des installations



artistiques. L'organisation partenaire des Amis du *High Line Park* est active dans sa conception, la maintenance et dans les programmes éducatifs. La Ville de New York fournit également des moyens d'accroître l'adoption des IV dans les propriétés privées avec des outils tels que la réduction des impôts fonciers pour inciter la construction de toits verts.

SURVOL DE LA PLANIFICATION DES INFRASTRUCTURES VERTES

Le Département des parcs et loisirs de la Ville de New York est le responsable du maintien de la majorité des IV de la ville au sein du réseau des parcs. Le ministère de la protection de l'environnement – *Department of Environmental Protection (DEP)* – dispose quant à lui d'un Bureau de l'IV chargé d'administrer le Programme pour l'IV qui se concentre sur la gestion des eaux pluviales. Le bureau du maire pour le développement durable et le bureau du maire pour la récupération et la résilience planifient et gèrent aussi des éléments de l'IV de New York grâce à leur rôle dans la supervision et la mise en œuvre des initiatives de durabilité et de résilience à New York aussi. Par exemple, ces bureaux soutiennent les efforts du Département des parcs et loisirs pour maintenir et développer la forêt urbaine, les parcs et les espaces publics.

Un ajout notable au réseau d'IV et des parcs de New York est le parc *High Line*, une voie verte au sommet d'une ancienne voie ferrée surélevée qui dispose de nombreuses plantes indigènes et des installations artistiques.

POINTS SAILLANTS

New York

- Une IV pour la gestion des eaux de pluie
- Calculateur en ligne pour quantifier les bénéfices des IV
- Département municipal et Plan stratégique dédiés aux IV
- Emphase sur l'éducation, la communication avec le grand public et la responsabilité partagée des IV



Vue aérienne du *High Line Park* de New York. PHOTO : BEYONDMYKEN, WIKIMEDIA COMMONS

Ressources supplémentaires : A Stronger, More Resilient New York, http://s-media.nyc.gov/agencies/sirr/SIRR_singles_Lo_res.pdf; NYC Green Infrastructure, 2014 Annual Report, nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/gi_annual_report_2015.pdf; NYC Green Infrastructure Co-Benefits Calculator, nycgicobenefits.net; Green Roof Property Tax Abatement, nyc.gov/html/dob/downloads/pdf/green_roof_tax_abatement_info.pdf.

Les infrastructures vertes en pratique dans le Grand Montréal



Les villes plus vieilles peuvent avoir besoin de se concentrer sur la modification et la restauration des sites avec une approche ascendante (*bottom-up*) conduite par les besoins et les valeurs existantes de leurs résidents. Les villes les plus récentes peuvent être en mesure d'adopter une approche descendante (*top-down*) et inclure la planification des IV dans leur déploiement.

PHOTO PEDROPVZ FLICKR

LA MISE EN PLACE DE RÉSEAUX d'IV peut être contrainte ou facilitée par le modèle de développement existant au sein d'une ville. Les villes plus vieilles peuvent avoir besoin de se concentrer sur la modification et la restauration des sites avec une approche ascendante (*bottom-up*) conduite par les besoins et les valeurs existantes de leurs résidents. Les villes les plus récentes peuvent être en mesure d'adopter une approche descendante (*top-down*) et inclure la planification des IV dans leur déploiement. La CMM se trouve au centre de ce spectre, de par ses nombreux éléments d'IV existants qui offrent à ses résidents des services écosystémiques essentiels. Avec ces éléments existants et à partir de plans de développement régionaux tels que le Plan métropolitain d'aménagement et de développement (PMAD), la CMM est bien placée pour concevoir et mettre en œuvre un réseau d'IV qui puisse être géré de manière adaptative pour assurer un approvisionnement à long terme des services écosystémiques dans le contexte des changements climatiques.

Dans cette section, nous avons choisi des études de cas locales qui illustrent la diversité des IV dans la CMM et qui peuvent toutes contribuer à un réseau régional d'IV. Le nombre de projets d'IV augmente rapidement au sein de la CMM : nous illustrerons certains projets aboutis et d'autres en cours. L'échelle spatiale de ces études de cas locales varie de 1 800 à 50 000 000 m² (Tableau 2), représentant souvent des approches ascendantes (*bottom-up*) qui reposent sur l'engagement des citoyens. Cette présentation d'études de cas locales est destinée à véhiculer l'idée que l'inclusion de la diversité des techniques et approches favorisera un réseau plus robuste qui augmentera la durabilité des zones urbaines et améliorera la qualité de vie de ses habitants.

TABLEAU 2 : SOMMAIRE DES ÉTUDES DE CAS LOCALES

Études de cas	Échelle (m ²)	Objectif principal de l'IV
Diversifier et complexifier la plantation des arbres en ville : le projet IDENT-Cité	1 800	Sensibiliser le public à l'importance des arbres en ville
Projet Habitations Jeanne-Mance	77 000	Gestion des eaux de ruissellement
Projet école secondaire Calixa-Lavallée	60 000	Réduction des îlots de chaleurs
Projet ILEAU	50 000 000	Réduction des îlots de chaleurs

LA DIVERSITÉ DES ARBRES EN VILLE : IDENT-Cité

ORGANISME RESPONSABLE :

Chaire du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) – Hydro-Québec sur le contrôle de la croissance des arbres, Université du Québec à Montréal

PARTENAIRES PRINCIPAUX :

Arrondissement Ahuntsic-Cartierville, Ville de Montréal

LOCATION :

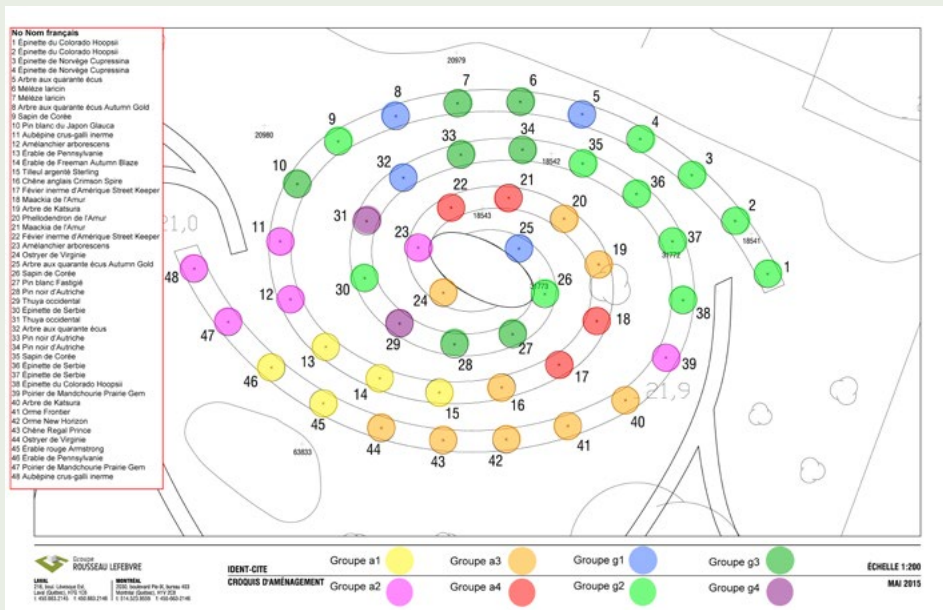
Arrondissement Ahuntsic – Cartierville

ÉCHELLE :

Environ 1800 m²; 48 arbres de 27 espèces ou variétés

PHASE DU PROJET :

Établi en 2015



Source : Alain Paquette (2015)

APERÇU DU PROJET

L'objectif général est d'aider le public à comprendre l'impact de la diversité des arbres et de leur aménagement sur la santé des écosystèmes urbains et sur les services rendus par la forêt urbaine, notamment sur la santé humaine. IDENT-Cité est lié au réseau international IDENT (*International Diversity Experiment Network with Trees*) qui comprend des expériences sur la diversité en Europe et en Amérique du Nord. C'est la première expérience du genre en milieu urbain. Le projet prend la forme d'une double spirale que le public peut suivre à la marche tout en se renseignant sur l'importance des arbres et de la biodiversité des infrastructures vertes en milieu urbain. Les retombées scientifiques d'une telle installation permettront de guider l'installation de dispositifs semblables à travers la CMM, à l'aide desquels il deviendra possible de tester plusieurs hypothèses liées aux effets des stress urbains sur l'infrastructure verte. D'un point pédagogique, l'installation permettra aux gestionnaires de s'assurer que les prochaines générations d'arbres qui seront plantés auront de meilleures chances de survivre et de fournir les nombreux services écologiques attendus d'eux.

Ressources supplémentaires : Conseil régional de l'environnement (CRE) de Montréal (2015) Actualités, cremtl.qc.ca/actualites/2015/projet-ident-cite-une-spirale-biodiversite; Université du Québec à Montréal (2015) Actualités, actualites.uqam.ca/2015/ident-cite-sensibiliser-la-population-urbaine-a-la-biodiversite

GESTION DES EAUX PLUVIALES DE STATIONNEMENTS : HABITATIONS JEANNE-MANCE

ORGANISME RESPONSABLE :

Corporation d'habitation Jeanne-Mance

PARTENAIRES PRINCIPAUX :

Éco-quartier St-Jacques

LOCATION :

Arrondissement de Ville-Marie

ÉCHELLE :

77 000 m²

PHASE DU PROJET :

Réalisé en 2012



Source : Corporation d'habitation Jeanne-Mance (2013)

APERÇU DU PROJET

L'objectif général consiste à appliquer des approches d'infrastructure verte pour la gestion des eaux de ruissellement dans un stationnement au cœur de Montréal, et d'en superviser l'efficacité. Le projet, implémenté aux Habitations Jeanne-Mance en 2012, portait sur le verdissement des stationnements et l'installation d'un bassin de bio-rétention, une structure jouant le rôle d'un centre miniature de traitement des eaux de ruissellement. Les modifications supplémentaires comprennent entre autres le retrait d'une surface minérale, l'aménagement d'un îlot central et d'un jardin de pluie, et la plantation de plus de 1000 arbres, arbustes et végétaux. Le projet fut officiellement reconnu en 2013 lorsqu'il remporta le prix « Coup de cœur » du jury lors de la conférence internationale Novatech Graie à Lyon, en France.

Ressources supplémentaires : Corporation d'habitation Jeanne-Mance (2013) Réfection écologique et verdissement de stationnements : gestion des eaux pluviales aux Habitations Jeanne-Mance, chjm.ca/fr/medias/files/Presentation_Novatech.pdf

RÉDUCTION DES ÎLOTS DE CHALEUR : ÉCOLE SECONDAIRE CALIXA-LAVALLÉE

ORGANISME RESPONSABLE :

Commission scolaire de la
Pointe-de-l'Île

PARTENAIRES PRINCIPAUX :

Institut national de santé
publique du Québec (INSPQ)



Source : Commission scolaire de la Pointe-de-l'Île (2012)

LOCATION :

Arrondissement de
Montréal-Nord

ÉCHELLE :

60 000 m²

PHASE DU PROJET :

Réalisé en 2013

APERÇU DU PROJET

Le projet visait le réaménagement du terrain de l'École secondaire Calixa-Lavallée à Montréal, en transformant cet îlot de chaleur en îlot de fraîcheur pour les étudiants et les habitants du quartier – la moitié de la surface asphaltée ayant été remplacée par des surfaces claires (Bituclair, béton gris pâle, dalles sans coloration) et des zones végétales (gazon, arbres et arbustes). Afin d'optimiser les gains de fraîcheur, le projet a favorisé l'utilisation de matériaux à faible albédo. Les fossés de rétention et les bassins secs ont contribué au captage et la gestion des eaux de pluie, tout comme les pentes douces du terrain qui aident à maintenir la fraîcheur désirée. De plus, l'éclairage du terrain est effectué grâce à l'énergie solaire. Ce projet a été mis en œuvre dans le cadre du volet santé du Plan d'action sur les changements climatiques du Québec 2006-2012, et soutenu entre autres par l'INSPQ, qui a comme mandat de supporter des projets encourageant la diminution de l'impact des changements climatiques sur la santé, notamment par la création de fraîcheur en milieu urbain. Grâce au lien avec l'INSPQ, le projet bénéficie également d'un suivi continu d'Environnement Canada. Les simulations d'Environnement Canada indiquent que l'effet rafraîchissant des modifications apparaît davantage durant la nuit en présence d'augmentation importante des zones végétales. Les ré-aménagements ont donné lieu à une réduction moyenne de température d'environ 1 °C et une réduction maximale de 2,9 °C.

Ressources supplémentaires : Commission scolaire de la Pointe-de-l'Île (2012), La nouvelle place fraîcheur de Calixa-Lavallée : un véritable poumon vert au coeur du quartier!, http://205.151.163.15/index.php?option=com_content&view=article&id=106:la-nouvelle-place-fraicheur-de-calixa-lavallee-un-veritable-poumon-vert-au-coeur-du-quartier&catid=12:dans-nos-ecoles; Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), Projets de lutte aux îlots de chaleur urbains, monclimatmasante.qc.ca/carte-des-projets-contre-les-ilots-de-chaleur.aspx

RÉDUCTION DES ÎLOTS DE CHALEUR : PROJET ILEAU

ORGANISME RESPONSABLE :

Conseil régional de
l'environnement de Montréal

PARTENAIRES PRINCIPAUX :

Institut national de santé
publique du Québec (INSPQ)

LOCATION :

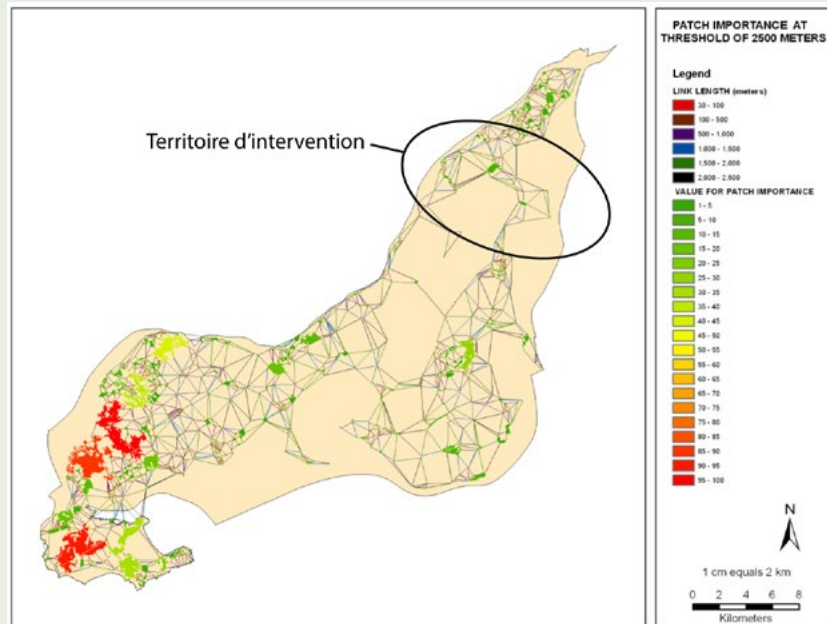
Cinq arrondissements :
Montréal-Nord, Anjou, Saint-
Léonard, Mercier-Hochelaga-
Maisonnette, Rivière-des-
Prairies-Pointes-aux-Trembles

ÉCHELLE :

Sites de tailles diverses (50 km²)

PHASE DU PROJET :

En voie de réalisation (2015-2017)



Source : Maria Dumitru et Andrew Gonzalez

APERÇU DU PROJET

Le projet vise à réduire fortement les îlots de chaleur urbains dans un territoire concernant 5 arrondissements, dans l'axe de l'autoroute 25. La région d'aménagement a été choisie en partie en fonction de sa forte contribution au portrait de connectivité régional du réseau forestier. L'approche consiste à combiner diverses mesures de réduction des effets des îlots de chaleur dans plusieurs lieux, en incluant des interventions et actions concrètes à court, moyen et long terme dans les milieux scolaires, de la santé, résidentiels, communautaires et commerciaux. Le projet plantera 15 000 végétaux en impliquant 150 organisations. Par la mise en place de liens végétalisés sur l'ensemble du territoire, le projet Interventions locales en environnement et aménagement urbain (ILEAU) contribue à la création d'une trame verte et bleue active entre la rivière des Prairies et le fleuve Saint-Laurent. Les interventions se situeront dans une des trois catégories suivantes :

1. Lieux prioritaires (définis par des experts)
2. Zones périphériques (connectivité entre lieux prioritaires)
3. Ensemble du territoire (appui par la mobilisation des citoyens)

ILEAU favorise aussi la biodiversité en milieu urbain et participe aux efforts de la collectivité montréalaise pour augmenter la canopée et lutter contre l'agrile du frêne. La diversité des méthodes et des emplacements sélectionnés renforcent la livraison des services écosystémiques.

Ressources supplémentaires : Interventions locales en environnement et aménagement urbain (ILEAU), ileau.ca

Un réseau d'infrastructures vertes dans le Grand Montréal

PHOTO: RYAN SOMMA/WIKIMEDIA COMMONS

Quelles pressions exerceront les changements climatiques sur le Montréal de demain?

LE MILIEU URBAIN EST UN SYSTÈME COMPLEXE dynamique qui est soumis à des forces déstabilisantes internes et externes, soit les stress et perturbations. Il en résulte une difficulté, voire impossibilité, de prédire avec précision la trajectoire et le comportement du système face à ces pressions. Les gestionnaires des milieux urbains doivent donc composer avec l'incertitude et opérer une gestion des risques. Une grande partie de cette incertitude provient des changements globaux et de leurs impacts. Parmi les risques naturels et environnementaux, notons les espèces envahissantes, les changements climatiques, la pollution des milieux et les changements d'utilisation des sols, comme l'étalement urbain.

Les températures globales à l'échelle du globe augmentent en raison des concentrations croissantes de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et impactent de façon significative l'environnement, la société et les activités économiques (Stern, 2006; IPCC, 2014). Le rythme et l'ampleur des augmentations de température varient selon les régions et les saisons à travers le Québec (figures 1 et 2 ; Sottile et al. 2010a). Dans le sud du Québec, les températures moyennes estivales et hivernales devraient augmenter de 2 degrés Celsius et 3 degrés Celsius respectivement en 2050. Cette tendance à la hausse est particulièrement marquée en hiver, malgré des niveaux assez élevés d'incertitude de ces estimations à l'intérieur des années. En outre, les extrêmes annuels de température maximale devraient augmenter plus rapidement que les températures estivales moyennes maximales (Casati et Elia, 2012).

Ces augmentations de la moyenne et des températures extrêmes sont particulièrement préoccupantes dans les régions métropolitaines, car elles peuvent intensifier les îlots de chaleur urbains, entraînant ainsi des conséquences négatives sur la qualité locale de l'air, la morbidité et la mortalité liées à la chaleur et la demande d'énergie (Arnfield, 2003; Patz, 2005). Les épisodes de chaleur extrême constituent un problème de santé publique important qui sera exacerbé dans la CMM par le réchauffement planétaire, l'urbanisation et une population vieillissante.

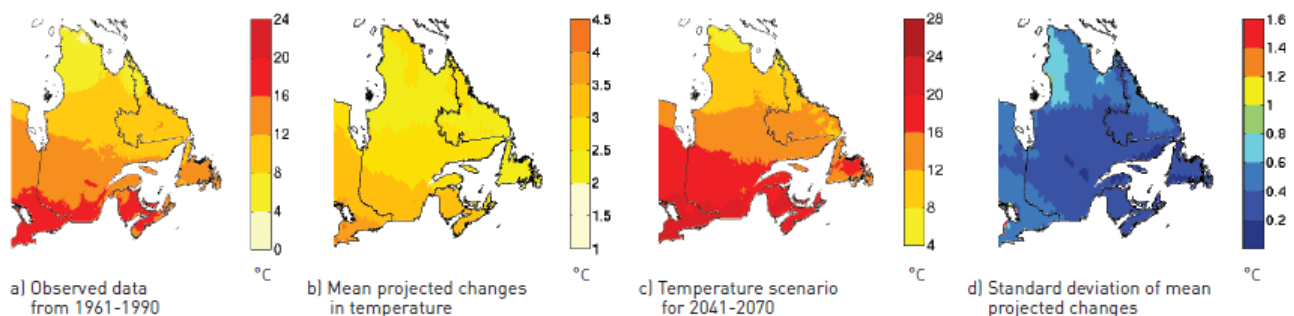
Les gestionnaires des milieux urbains doivent composer avec l'incertitude et opérer une gestion des risques. Une grande partie de cette incertitude provient des changements globaux et de leurs impacts.

Le milieu urbain est un système complexe dynamique qui est soumis à des forces déstabilisantes internes et externes, soit les stress et perturbations. Il en résulte une difficulté, voire impossibilité, de prédire avec précision la trajectoire et le comportement du système face à ces pressions.

La gravité des événements de chaleur extrême peut s'illustrer par l'exemple de la vague de chaleur de 2003 en Europe qui a conduit à un nombre de décès prématurés estimé entre 22 000 et 35 000 [Schar et Jendritzky, 2004]. Au-delà de décès directs, les maladies liées à la chaleur, comme les coups de chaleur, l'épuisement par la chaleur, les maladies cardiovasculaires et les problèmes respiratoires, sont également de graves préoccupations au cours des événements de chaleur [Semenza et al., 1999]. Les impacts des événements de chaleur extrême sont vécus de manière disproportionnée chez les personnes pauvres, les enfants, les personnes âgées et les handicapés qui sont plus vulnérables en raison d'un manque de moyens économiques et de soutien social. Près de 1500 décès seraient attribuables à la pollution de l'air dans la métropole, un phénomène qui peut s'amplifier sous l'effet des changements climatiques [Judek et al., 2004].

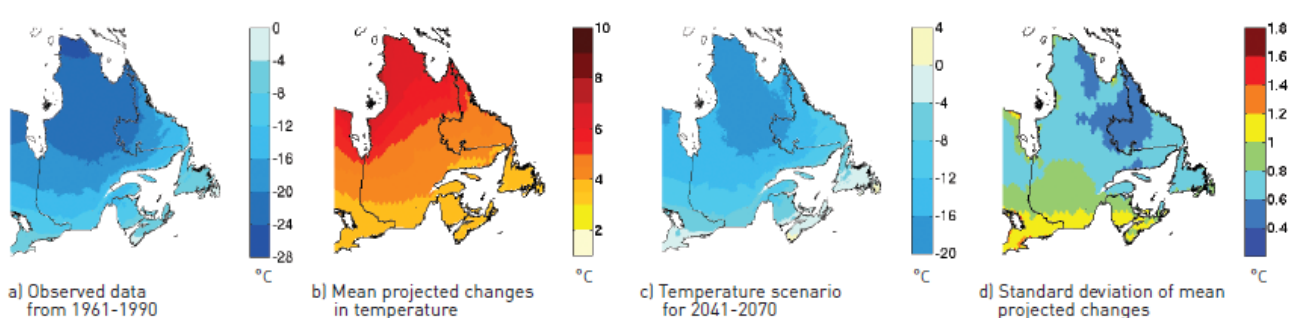
La hausse de la température globale est aussi associée à des changements dans les régimes de précipitations dans de nombreuses régions du monde. Dans le sud du Québec, il y a une grande incertitude associée aux estimations des précipitations futures. Néanmoins, on prévoit que les précipitations hivernales augmenteront de 30 – 55 mm, mais ne devraient pas changer pour les précipitations estivales (figures 3 et 4 ; Sottile et al. 2010b). Les changements dans la configuration des précipitations vont probablement avoir des impacts majeurs sur la gestion de l'eau dans les zones urbaines puisque les infrastructures et systèmes en place ont été conçus sur la base des données de précipitations passées.

FIGURE 1 : CHANGEMENTS PROJÉTÉS DES TEMPÉRATURES ESTIVALES POUR LE QUÉBEC EN 2050



Source : Tiré de Sottile et al., 2010a

FIGURE 2 : CHANGEMENTS PROJÉTÉS DES TEMPÉRATURES HIVERNALES POUR LE QUÉBEC EN 2050



Source : Tiré de Sottile et al., 2010a

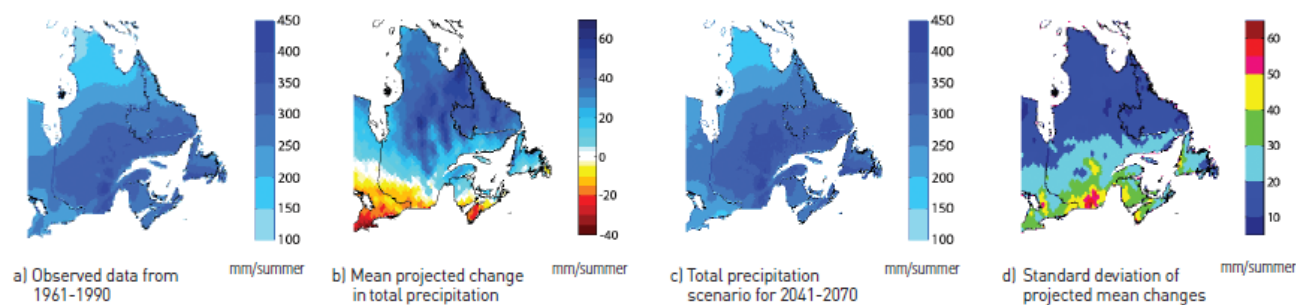
Les infrastructures de gestion des eaux actuellement en place atteindront leurs limites de capacité plus souvent, résultant en une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des inondations à cause de débordements et les refoulements d'égout. Un nombre important de conséquences pour la santé est associé aux inondations tel que le montre la revue de littérature de MacMichael et al. (2006). Les conséquences immédiates des inondations comprennent des maladies transmissibles et l'exposition aux polluants toxiques. En ce sens, des précipitations excessives qui facilitent l'entrée des eaux usées et des déchets animaux humains dans les cours d'eau utilisés pour l'approvisionnement en eau potable peuvent initier et propager des maladies transmises par l'eau. Dans la CMM, les inondations vécues en Montérégie en 2011 sont un bon exemple de coûts social, environnemental et économique que ces événements peuvent entraîner.

En plus des pressions liées au climat changeant et aux autres facteurs tels les espèces invasives et la pollution des milieux, la conversion des milieux naturels et semi-naturels en zones bâties (c.-à.-d. l'étalement urbain) est aussi préoccupante pour le territoire de la CMM. Selon les prévisions de l'Institut de la statistique du Québec, le Grand Montréal accueillera 712 000 personnes et 425 000 ménages supplémentaires entre 2006 et 2031 (ISQ, 2009). Cette croissance démographique entraînera des pressions supplémentaires sur les milieux naturels en raison de la demande pour le logement.

En effet, la région compte actuellement sur 13 000ha de zones blanches destinées au développement urbain (CMM, 2011). En se basant sur la moyenne de la densité du bâti (18,1 résidences

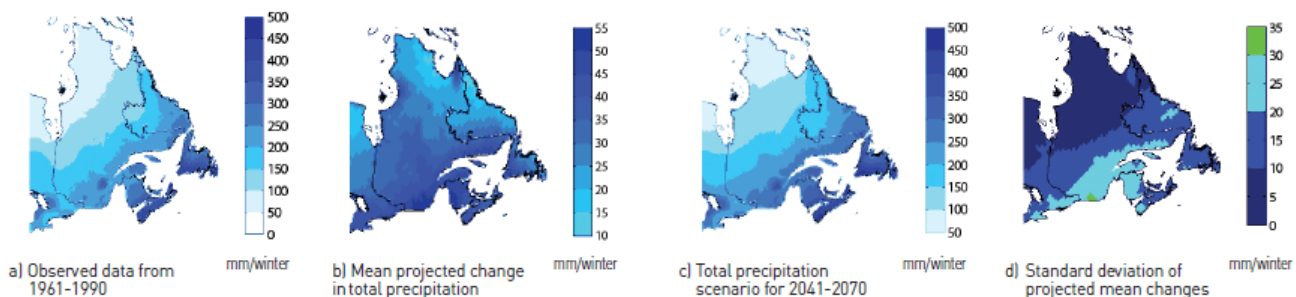
Les conséquences immédiates des inondations comprennent des maladies transmissibles et l'exposition aux polluants toxiques. En ce sens, des précipitations excessives qui facilitent l'entrée des eaux usées et des déchets animaux humains dans les cours d'eau utilisés pour l'approvisionnement en eau potable peuvent initier et propager des maladies transmises par l'eau.

FIGURE 3 : CHANGEMENTS PROJÉTÉS DES PRÉCIPITATIONS ESTIVALES POUR LE QUÉBEC EN 2050



Source : Tiré de Sottile et al., 2010a

FIGURE 4 : CHANGEMENTS PROJÉTÉS DES PRÉCIPITATIONS HIVERNALES POUR LE QUÉBEC EN 2050



Source : Tiré de Sottile et al., 2010a

par hectare entre 1999 et 2004], la pleine capacité des zones blanches sera occupée en 2023. La densification du bâti urbain et l'augmentation de l'offre du transport en commun, deux des trois grandes orientations du PMAD de la CMM sont donc prioritaires si l'on veut éviter que le développement urbain futur se fasse au détriment des forêts, boisés, milieux humides et agricoles de la CMM.

Les éléments constituant les infrastructures vertes



Dans une perspective régionale (c.-à-d. échelle macro), nous pouvons considérer les infrastructures vertes existantes comme le total des forêts, boisés et milieux humides de la région.

PHOTO : DENIS SAINT-MAURICE/FLICKR

Les éléments physiques constituant un réseau d'infrastructures vertes sont variés dans leur forme, leur composition, leurs dimensions et leur fonction. La reconnaissance de ces éléments sur le territoire d'une ville ou d'une région permet d'établir le portrait actuel de ses milieux naturels et semi-naturels, mais offre aussi une vitrine sur les différents outils de restaurations disponibles pour son développement. Les principaux éléments incluent entre autres les parcs urbains, les boisés, les bandes riveraines, les friches urbaines et autres espaces verts vacants, les emprises des routes et lignes de transport d'énergie, les bassins de rétention, les toits et murs végétalisés. À cette liste s'ajoute aussi les jardins et cours privées, et de manière générale, tous les aménagements ou espaces végétalisés d'un territoire urbain.

À l'échelle la plus fine (c.-à-d. micro), chaque plante herbacée, arbuste et arbre inclus dans un aménagement ou croissant de façon spontanée, constitue des unités participant à l'infrastructure verte d'une ville.

À l'opposé, à une échelle macro, le terme infrastructure verte réfèrera à des processus de planification et d'aménagement du territoire à l'échelle des villes ou des régions. Les exemples classiques sont les Ceintures vertes, concept né en Angleterre dès les années 1940 et ayant largement essaimé dans le reste du monde, dont à Ottawa et Toronto. De nos jours, cette planification régionale fait intervenir la notion de connectivité écologique et se cristallise davantage dans des aménagements de types trames ou réseaux verts, visant à interconnecter les milieux naturels et semi-naturels afin de favoriser la circulation des espèces vivantes dans le territoire.

Entre ces deux échelles, il est possible de considérer les IV comme des aménagements urbains permettant de répondre à des besoins précis, tels le contrôle des eaux de ruissellement ou la lutte aux îlots de chaleur. Les bassins de rétention aménagés autour de milieux humides, des projets de verdissement urbain ou des quartiers verts représentent des exemples probants d'infrastructures vertes à des échelles méso.

Les bénéfices économiques des infrastructures vertes dans la CMM

Les bénéfices produits par les écosystèmes et améliorant la qualité de vie des résidents résultent de la variété, la superficie, la densité, l'agencement et des interactions de ces éléments entre eux, mais aussi avec les autres composantes sociales et physiques d'une ville.

Dans une perspective régionale (c.-à-d. échelle macro), nous pouvons considérer les infrastructures vertes existantes comme le total des forêts, boisés et milieux humides de la région. Selon

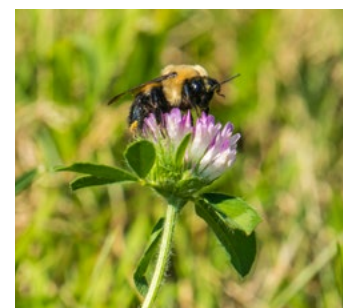
le PMAD (CMM, 2011), la région possède 73 727 ha de milieux forestiers et 20 012 ha de milieux humides. Les 220 520 ha de milieux agricoles représentent 57,5% du territoire et ont le potentiel de relier les milieux naturels par l'entremise d'aménagement agro-environnementaux, tels les bandes riveraines ou haies brise-vents. Dupras et al. (2015b) ont réalisé une analyse économique de la valeur des services écosystémiques produits par le réseau d'infrastructures vertes du Grand Montréal écologique¹. En analysant un total de 11 services écosystémiques non marchands, de la séquestration du carbone en passant par la pollinisation et la régulation de l'eau, ils ont mesuré une contribution annuelle de 2,2 milliards de \$.

Toutefois, dans une récente étude, Dupras et Alam (2015) ont reconstruit l'évolution de 88% du territoire de la CMM des années 1960 à aujourd'hui. Leur analyse montre que l'étalement urbain a entraîné la perte de près de 30% des forêts, 12% des milieux humides, 20% des terres agricoles et plus de 30% des friches, amputant ainsi de façon significative les bénéfices environnementaux reçus par la population et le potentiel de résilience écologique (Dupras et Alam, 2015). Cette dépréciation du capital écologique entraîne des coûts annuels supplémentaires pour les municipalités de 235 millions de \$ (Dupras et Alam, 2015).

Les acteurs des infrastructures vertes dans la CMM

Le maintien et la bonification d'un réseau d'IV nécessitent la collaboration d'une multitude d'acteurs du domaine public (e.g. élus et experts issus des domaines de l'aménagement et de l'urbanisme) et privé (e.g. citoyens, entreprises et associations de protection de l'environnement). Alors que les premiers forment le corpus de l'action publique, en charge de règlementer l'utilisation du territoire et d'orchestrer des opérations de verdissement sur le domaine public, les seconds peuvent aussi contribuer significativement à l'implantation d'une telle infrastructure en région métropolitaine, dans la mesure où ils sont partie prenante d'un réseau de gouvernance qui vise à exploiter le potentiel de chacun. Ces derniers agissent généralement sur le domaine privé, soit les terrains résidentiels et ceux des ICI (industries, commerces et institutions) comme les banques, églises, centres commerciaux et autres propriétés de ce type.

Dans le contexte métropolitain montréalais, les acteurs publics impliqués dans la planification et l'implantation de l'IV agissent à différentes échelles : arrondissement, ville, agglomération, communauté métropolitaine et gouvernement du Québec. Les processus d'élaboration et de mise en œuvre de politiques de verdissement dans le contexte de la ville de Montréal illustrent comment se déploie l'action publique. La Ville de Montréal présente une particularité quant à son organisation municipale, c'est-à-dire d'avoir des paliers décisionnels qui influencent l'aménagement et l'urbanisme aux cinq échelles pré-mentionnées. De plus, la ville englobe plus de 40% de la population métropolitaine, en plus d'être la plus densément peuplée des 82 municipalités de la CMM. Ces considérations expliquent les défis importants avec lesquels doivent composer les acteurs de l'IV et offrent l'occasion de dresser un portrait plus détaillé de l'éventail des actions potentielles à prendre en faveur de l'IV. Les principaux paliers de gouvernance publique relatifs aux IV sont présentés dans les encadrés qui suivent.



Le maintien et la bonification d'un réseau d'infrastructures vertes nécessitent la collaboration d'une multitude d'acteurs du domaine public (e.g. élus et experts issus des domaines de l'aménagement et de l'urbanisme) et privé (e.g. citoyens, entreprises et associations de protection de l'environnement).

PHOTO : AVDESIGN/FICKR

1 Il ne s'agit pas ici du territoire de la CMM, mais de celui de la Plaine du Haut-St-Laurent. Ce dernier englobe la CMM et les zones avoisinantes

Les administrations publiques peuvent compter sur la collaboration de nombreux partenaires privés qui mettent l'épaule à la roue pour implanter à plus grande échelle les infrastructures vertes dans le Grand Montréal : individus, entreprises et organismes à but non lucratif.

Les administrations publiques peuvent compter sur la collaboration de nombreux partenaires privés qui mettent l'épaule à la roue pour implanter à plus grande échelle les IV dans le Grand Montréal : individus, entreprises et organismes à but non lucratif. Sans pouvoir tous les nommer, quelques-uns contribuent significativement à la progression des IV dans la région. C'est notamment le cas de la Société de verdissement du Montréal métropolitain (SOVERDI) qui œuvre depuis le début des années 1990 auprès des commissions scolaires, des propriétaires de grands terrains et des particuliers pour faire la promotion des IV sur les terrains en mesure d'être verdis. Elle joue un rôle prépondérant dans la mise en œuvre du Plan d'action canopée à titre d'exemple. Autre mention, le Mouvement Ceinture Verte regroupe plusieurs organismes à vocation environnementale, par exemple le conseil régional de l'environnement de Montréal, ainsi que d'autres partenaires comme Nature Québec et la Fondation Cowboys Fringants. Son but est de coordonner les actions de ses membres en faveur des IV dans le Grand Montréal, que ce soit sur des terrains publics ou privés. Le projet 375 000 arbres pour le Grand Montréal, à l'occasion du 375^e anniversaire de la ville en 2017, une initiative de la Fondation Cowboys Fringants, de la Fondation David Suzuki et du Jour de la Terre Québec est un autre exemple probant d'initiative privée favorisant l'implantation des IV. Au sein de la CMM, de nombreux autres acteurs œuvrent aussi pour le verdissement à plus petite échelle, que ce soit des comités citoyens pour des ruelles vertes ou des organismes comme Sentier Urbain, qui réalisent des interventions de verdissement dit social employant des personnes marginalisées.

ARRONDISSEMENT : épaulés par des professionnels de l'aménagement, ingénieurs forestiers, architectes paysagistes ou horticulteurs, les autorités publiques sont en charge de la réglementation d'arrondissement, qui régit notamment la plantation et l'abattage des arbres, mais aussi les superficies végétalisées. À titre d'exemple, l'arrondissement de Saint-Laurent, à Montréal, exige que les stationnements de plus de vingt unités soient aménagés et plantés de façon à ce que la canopée des arbres, une fois ceux-ci matures, recouvre 40% de l'espace de stationnement. Les arrondissements montréalais sont aussi responsables de la gestion des parcs de portée locale, et veillent à la plantation et l'entretien des arbres de ces parcs et des arbres sur rue. Leur principal défi demeure l'identification de sites propices à la plantation sur le domaine public au sein d'arrondissements parfois très densément peuplés.

VILLE ET AGGLOMÉRATION : les compétences municipales en matière d'infrastructures vertes sont partagées entre différentes unités administratives, mais particulièrement entre les services de l'aménagement du territoire et celui des grands parcs et du verdissement. De nombreux experts, dont des biologistes, architectes, architectes paysagistes, spécialistes en agronomie, ingénieurs et urbanistes, y fournissent leur expertise. Leurs responsabilités incluent notamment l'élaboration du plan d'urbanisme municipal et du schéma d'aménagement et de développement de l'agglomération, lesquels peuvent contenir des mesures en matière d'IV qui doivent être respectées par les arrondissements. De plus, ces services gèrent les parcs de portée régionale (e.g. le parc du mont Royal, le parc Lafontaine), fournissent une expertise scientifique et technique aux arrondissements pour le verdissement et rédigent des plans d'action en matière d'infrastructures vertes, dont le plus important à ce jour est le Plan d'action canopée 2012-2021 [Ville de Montréal, 2012].

CMM ET GOUVERNEMENT DU QUÉBEC : à travers le PMAD, ou à travers les lois et règlements, les élus et acteurs de la CMM et du gouvernement québécois peuvent énoncer des orientations qui auront pour but d'influencer le contenu des schémas d'aménagement et de développement des municipalités régionales de comté (MRC) et agglomérations qui composent leur territoire, telles que les dispositions sur la trame verte et bleue du Grand Montréal. Ceci dit, les professionnels de la CMM n'interviennent pas directement dans la planification et l'implantation des IV, ces responsabilités relevant des municipalités. Le gouvernement du Québec a quant à lui un pouvoir d'action autour des infrastructures qui sont sous sa responsabilité, comme les autoroutes et routes à numéro.

Les acteurs des IV sont donc pluriels, provenant à la fois des entités publiques et privées, et agissent à différentes échelles territoriales selon les pouvoirs habilitants à leur disposition. Ainsi, il apparaît nécessaire de mettre sur pied un système de gouvernance des IV pour assurer non seulement leur implantation, mais aussi leur entretien à travers les années. Si les pouvoirs publics possèdent un pouvoir d'action considérable, il n'en demeure pas moins qu'une importante proportion du territoire est de tenure privée. Ces espaces représentent un immense potentiel pour les IV et il faut prendre en considération le rôle crucial du secteur privé.

La planification d'un réseau d'infrastructures vertes

La plupart des espaces naturels et semi-naturels dans des environnements urbains ne sont pas assez grands pour répondre à tous les objectifs visés par l'instauration d'IV. L'atteinte de ces objectifs nécessite plutôt une approche par réseau qui comprend un mélange de différents types d'espaces verts et d'écosystèmes naturels et semi-naturels. Un ensemble de parcelles d'espaces verts distincts fonctionnera comme un réseau si elles sont reliées pour permettre le mouvement de nombreuses espèces et pour fournir de nombreux services écosystémiques. L'emplacement des parcelles d'espaces verts au sein du réseau déterminera comment il est connecté, ce qui permettra ensuite de déterminer la durabilité et la résilience de ce réseau. Par exemple, les zones naturelles qui sont bien connectées au sein du réseau aideront à atteindre les objectifs de conservation de la biodiversité en réduisant les taux de disparitions locales. Les réseaux d'IV qui sont bien connectés auront une plus grande capacité à récupérer des fluctuations climatiques, tels que les événements de précipitations ou de sécheresse extrêmes.

Les éléments fondamentaux d'un réseau d'IV sont des zones naturelles et semi-naturelles et des corridors. Les espaces naturels et semi-naturels forment les nœuds du réseau et peuvent être très variés en fonction de leur composition en espèces floristiques et fauniques, ainsi qu'en termes de services écosystémiques qu'ils fournissent. Les corridors qui facilitent le déplacement des espèces sont une composante essentielle des stratégies de conservation intégrées (Lindenmayer et Franklin, 2002). Les corridors sont des parcelles de terre qui favorisent la connectivité en facilitant le mouvement des organismes entre les espaces naturels (Beier et al., 2008).

La notion de connectivité écologique est soutenue par des expériences qui montrent comment les corridors peuvent sauver les espèces de l'extinction par la promotion de la colonisation et de la dispersion des espèces (Gonzalez et al., 1998; Tewksbury et al., 2002). Les corridors ne sont pas la seule façon de maintenir la perméabilité du paysage et la connectivité entre les espaces naturels. En effet, il convient également de se concentrer sur la matrice environnante de l'IV. Les surfaces pavées, les zones résidentielles de haute densité et la pollution des milieux peuvent inhiber la circulation des organismes entre les espaces verts.

Lorsque l'implantation de corridors continus n'est pas possible, de petites parcelles d'espaces verts stratégiquement situées au sein du réseau peuvent servir de points de passage importants pour permettre des flux à travers le réseau et peuvent elles-mêmes contribuer à la diversité et à la fourniture de services écosystémiques comme le stockage du carbone (Ziter et al., 2014). On parle alors d'un d'aménagement en « pas japonais ». Le but de relier les divers éléments de l'IV dans un réseau est de créer un effet coopératif qui permet à l'ensemble du réseau d'être plus grand que la



Les éléments fondamentaux d'un réseau d'infrastructures vertes sont des zones naturelles et semi-naturelles et des corridors.

PHOTO : DENNIS HAMILTON/FICKR

somme de ses parties. S'il est bien conçu, un réseau d'IV peut maintenir les services écosystémiques et la biodiversité malgré l'incertitude et les risques associés au changement climatique et au développement urbain.

Comment modéliser et analyser la connectivité de réseaux d'infrastructures vertes?

Les parcelles d'habitat peuvent être représentées comme des nœuds dans un réseau spatial, et le potentiel de dispersion des espèces entre ces nœuds peut être représenté comme des liens à travers la matrice du territoire.

PHOTO : RADOMIL/WIKIMEDIA COMMONS

La modélisation de la connectivité basée sur la théorie des réseaux a été appliquée par les biologistes de la conservation afin de quantifier la connectivité à travers des paysages hétérogènes (Urban et al., 2009). Des modèles de réseau spatial en écologie ont principalement été développés pour la conservation de la biodiversité et ont mis l'accent sur les zones naturelles comme étant des habitats pour les espèces qui sont d'intérêt pour la conservation. Les parcelles d'habitat peuvent être représentées comme des nœuds dans un réseau spatial, et le potentiel de dispersion des espèces entre ces nœuds peut être représenté comme des liens à travers la matrice du territoire (Dale et Fortin, 2010). Ces réseaux spatiaux peuvent être utilisés pour identifier les liens les plus connectés entre les habitats naturels et les correctifs à faire pour augmenter la conservation des espèces. Dans les paysages hétérogènes, comme ceux rencontrés dans la CMM, les liens entre les nœuds peuvent être pondérés selon la résistance qu'ils représentent à la circulation des espèces (McRae et al., 2008). Par exemple, si on cherche à lier deux zones naturelles comme des milieux humides, une bande riveraine ou un parc linéaire présentera moins de résistance qu'une route bitumée. Ainsi, à partir de toutes les voies possibles qui contribuent à la connectivité entre une source et la destination, il est possible de dessiner un réseau qui présente le moins de résistance pour la libre circulation des espèces. Cette stratégie est particulièrement utile pour identifier les meilleurs liens entre les habitats ou des zones protégées (Beier et al., 2008).

Il est également important de considérer la connectivité sur de courtes et de longues distances pour maintenir un réseau pour la conservation de la biodiversité (Rayfield et al., 2015). La connectivité



courte permet aux espèces de se déplacer au sein du réseau d'acquisition de ressources, comme trouver des partenaires, de la nourriture ou coloniser des habitats vacants. La connectivité longue permet aux espèces de traverser le réseau dans une perspective plus macroscopique, comme les migrations annuelles ou la modification de leurs habitats de vie, dans un contexte de changements climatiques par exemple. Les modèles de réseau spatial peuvent fournir des informations complémentaires sur la connectivité courte et longue d'un paysage. Beaucoup de mesures existent pour quantifier ces connectivités variables dans le temps et l'espace (Rayfield et al., 2011). Le modèle utilisé dans cette étude se concentre sur la connectivité à courte et à longue portée et repose sur trois métriques et leurs variations pour la construction de scénarios d'IV pour la CMM : la connectivité équivalente (Saura et al. 2011), la centralité intermédiaire (Freeman 1978) et la densité courante (McRae, 2006; McRae et al., 2008). Pour plus de détails sur la méthodologie utilisée, le lecteur pourra consulter les articles de Rayfield et al. (2015) et Albert et al. (en préparation).

Prioriser des éléments du réseau pour la conservation et les services écosystémiques

Il existe une panoplie de méthodes pour la conception de réseaux d'IV qui prend explicitement en compte la biodiversité et les services écosystémiques, y compris les exigences de connectivité du réseau (Snäll et al., 2015). Les méthodes de cette boîte à outils sont basées sur les priorités de conservation spatiale, une approche éprouvée pour parvenir à une allocation de coût-efficacité des efforts de conservation. Cette approche a été récemment utilisée pour hiérarchiser les éléments de réseau pour la conservation des espèces en Montérégie sur la base de modèles spatiaux de réseaux et circuits de courte distance et de la connectivité à longue distance (Rayfield et al., 2015).

L'analyse des priorités de conservation du territoire représente l'une des composantes scientifiques majeures de la planification systématique de la conservation (Margules et Pressey, 2000). La planification systématique de la conservation comporte des composantes sociales, politiques, économiques et scientifiques importantes dans les phases de planification et de mise en œuvre. Les priorités de conservation du territoire répondent à deux composantes scientifiques clés : la définition d'objectifs et la proposition de solutions pour y répondre. Les priorités de conservation du territoire représentent l'analyse systématique des informations cartographiées afin d'identifier les zones les plus importantes pour la biodiversité pour répondre efficacement aux objectifs de conservation (Pressey et al., 2007). Ces zones pourraient devenir des zones protégées qui font partie d'un réseau d'infrastructure verte, à la suite des nécessaires évaluations de la faisabilité, négociations politiques et économiques et analyses légales.

Les approches de priorisation de conservation spatiales se concentrent sur l'allocation stratégique et spatialement explicite des ressources de conservation. L'allocation des ressources du territoire dans un contexte de conservation est une entreprise complexe, nécessitant une combinaison de méthodes de différentes disciplines, y compris en écologie spatiale, mathématiques, informatique, géographie, sociologie et économie (Reyers et al., 2010). Pour aider à cette entreprise transdisciplinaire, un logiciel sophistiqué d'aide à la décision a été développé et intègre de grands ensembles de données biologiques et socio-économiques afin de prioriser les efforts de conservation dans le paysage (Possingham, Ball et Andelman, 2000). Nous décrivons un tel logiciel d'aide à la décision ci-dessous (c.-à-d. *Zonation*; Moilanen, 2007). Le principe déterminant de ces outils est

Les priorités de conservation du territoire représentent l'analyse systématique des informations cartographiées afin d'identifier les zones les plus importantes pour la biodiversité pour répondre efficacement aux objectifs de conservation. Ces zones pourraient devenir des zones protégées qui font partie d'un réseau d'infrastructure verte, à la suite des nécessaires évaluations de la faisabilité, négociations politiques et économiques et analyses légales.

Le principe déterminant de ces outils est la complémentarité. Au sens large, le principe est que « les avantages de toutes les actions de conservation dans le paysage doivent être évalués conjointement et les conséquences à long terme des interactions entre les actions doivent être mesurées conjointement ».

PHOTO : KRISTINA BEDJIS
WIKIMEDIA COMMONS

la complémentarité. Au sens large, le principe est que « les avantages de toutes les actions de conservation dans le paysage doivent être évalués conjointement et les conséquences à long terme des interactions entre les actions doivent être mesurées conjointement » (Moilanen, 2008). Pour les réseaux d'IV, la complémentarité exige tout particulièrement que les éléments individuels (c.-à-d. espaces naturels et semi-naturels) devraient compléter, plutôt que de dupliquer, les caractéristiques naturelles au sein du système (Pressey et al., 1993). La complémentarité est une des composantes clés d'une série de concepts de base qui guident la hiérarchisation spatiale de conservation.

Zonation est un logiciel d'aide à la décision qui a été largement appliqué pour identifier les priorités de conservation spatiales à l'aide de la distribution de plusieurs caractéristiques de conservation telles que les espèces, les habitats et les services écosystémiques (Moilanen 2007; Moilanen, Leathwick et Quinn, 2011; Moilanen, 2012). En déconstruisant le territoire en un ensemble fin de pixels aux caractéristiques variées (e.g. type de couverture de sol, qualité de l'habitat), le logiciel produit une carte de priorité de rang pour chaque pixel et un ensemble de courbes de performance, soit leur importance dans le réseau. La priorisation des parcelles se produit en éliminant itérativement le pixel avec la valeur de conservation la plus basse et en recalculant la valeur de conservation pour chaque pixel restant. L'ordre de suppression des pixels fait en sorte que les pixels moins prioritaires sont supprimés en premier. Le calcul de la valeur de conservation de chaque pixel est déterminée par la règle pixel-retrait, qui peut être additif à travers des fonctionnalités de sorte que la priorité est donnée aux pixels de haute qualité qui contribuent à tous les types de connectivité. Les paramètres de connectivité décrites ci-dessus peuvent être cartographiés dans l'espace et utilisés comme base pour établir les priorités de conservation spatiale, ainsi que d'autres caractéristiques de conservation telles que des cartes de qualité de l'habitat, des cartes d'aptitude climatique, et d'autres caractéristiques du paysage qui sont importantes pour les IV, telles que des cartes de réduction des îlots de chaleur.



La planification d'un réseau d'infrastructures vertes dans la CMM

LE TERRITOIRE À L'ÉTUDE, LA CMM, EST PRÉSENTÉ À LA FIGURE 5. Nous présentons dans cette section deux scénarios potentiels d'expansion du réseau d'IV dans la CMM : 1) le Scénario Biodiversité et 2) le Scénario Biodiversité et Fraîcheur. Ces scénarios illustrent notre méthode d'établissement des priorités pour l'expansion des IV basée soit sur un objectif unique (conservation de la biodiversité) ou des objectifs multiples (ici représentés par la conservation de la biodiversité et la réduction des îlots de chaleur). Afin d'illustrer notre démarche, nous supposons que le réseau d'IV actuel dans la CMM est constitué du 1,87% du territoire de la CMM qui est formellement protégé, mais où des IV supplémentaires et existantes pourraient facilement être ajoutées. Les deux scénarios présentent des priorités de conservation d'IV qui pourraient élargir le 1,87% du territoire qui est protégé. Nous comparons les scénarios à travers trois niveaux de protection qui augmentent le Niveau 0 (1,87%) d'IV dans la CMM : le Niveau 1 (où 5% du territoire serait formellement protégé), Niveau 2 (10% d'aires protégées), et Niveau 3 (17% d'aires protégées). Le niveau de protection de 17% correspond à l'objectif d'Aichi qui appelle tous les signataires de la dixième Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique à protéger au moins 17% de leur territoire d'ici 2020. Cet objectif a été entériné par la CMM dans son PMAD (CMM, 2011).

Les deux scénarios présentés dans ce rapport illustrent notre méthode d'établissement des priorités pour l'expansion des IV basée soit sur un objectif unique (conservation de la biodiversité) ou des objectifs multiples (ici représentés par la conservation de la biodiversité et la réduction des îlots de chaleur).

PHOTO AU-DESSUS : ABDALLAH FLICKR

Description des scénarios et des données utilisées

SCÉNARIO BIODIVERSITÉ

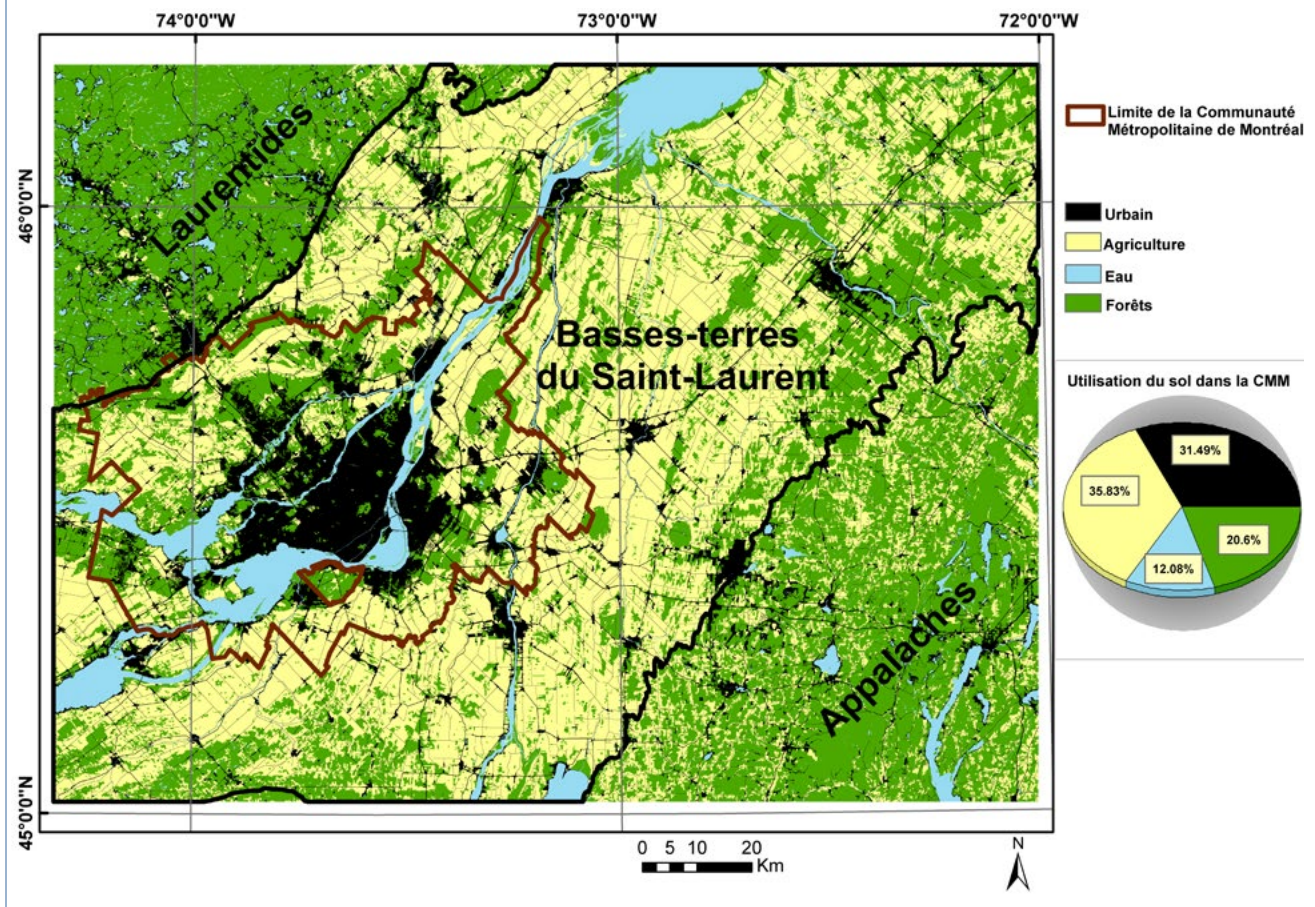
Le Scénario biodiversité priorise une expansion du réseau d'IV qui serait basée sur des critères de qualité, connectivité et conditions climatiques des habitats de 14 espèces représentatives de la biodiversité de la région et qui constituent le cœur du modèle d'analyse spatiale utilisé. Ce modèle a été d'abord construit dans une étude précédente à l'échelle des Basses-terres du Saint-Laurent (Gonzalez et al., 2013) et est basé sur la prémisse que la conservation de la biodiversité exige le maintien de la connectivité courte et longue des forêts (Rayfield et al., 2015).

Dans le modèle utilisé dans notre étude, un échantillon de 14 espèces de vertébrés a été sélectionné pour représenter la biodiversité au sein de la zone d'étude. Les espèces sélectionnées comprennent 6 mammifères, 5 oiseaux et 3 amphibiens qui diffèrent par rapport aux exigences de l'habitat, de la dynamique de la population et des capacités de dispersion².

Nous avons modélisé la qualité de l'habitat pour chaque espèce en se basant sur une revue approfondie de la littérature (voir Gonzalez et al., 2013) qui considère les traits des espèces et leurs exigences d'habitat en termes de composition du paysage (e.g. la couverture du sol, les caractéristiques de la forêt) et la configuration du paysage (e.g. la lisière de la forêt, la distance par rapport aux milieux humides). La qualité de l'habitat a été cartographiée à une résolution de 30m x 30m sur la base du 3^e inventaire Éco-forestier du Québec (MRNF, 2003) et a été complétée par des données de la base de données topographique provinciale (MRNF, 2008). Des cartes de résistance spécifique au mouvement des espèces ont été développées dans les pixels dits de non-habitat. Les résistances au mouvement des espèces sont des zones où leur déplacement est difficile ou menace leur survie,

FIGURE 5 : CARTE DES LIMITES DE LA CMM DANS UN CONTEXTE RÉGIONAL PLUS LARGE

La répartition spatiale des types de couverture de sols est résumée dans le graphique circulaire.

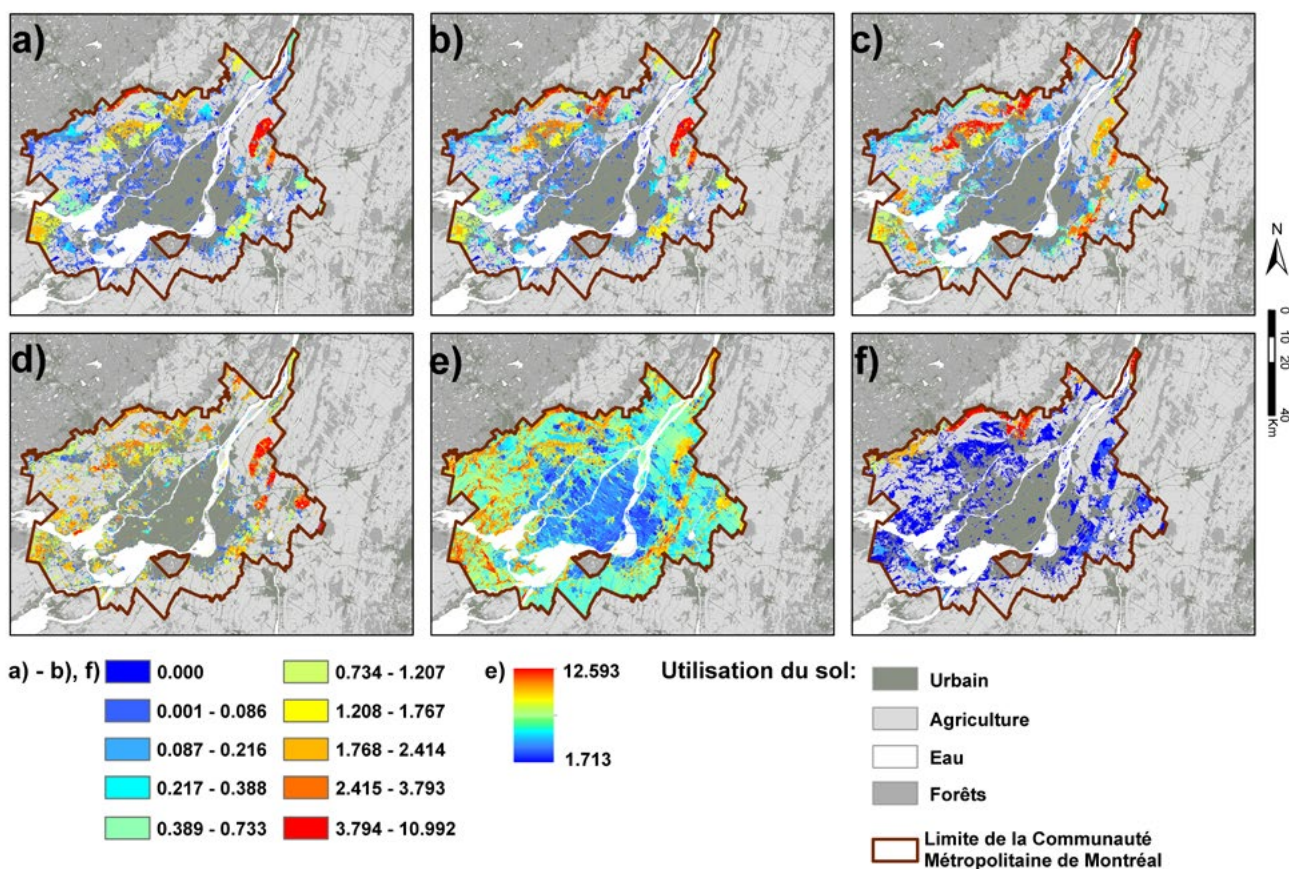


2 Grande musaraigne (*Blarina brevicauda*), crapaud d'Amérique (*Bufo americanus*), grand pic (*Dryocopus pileatus*), lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*), martre d'Amérique (*Martes Americana*), cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), souris à pattes blanches (*Peromyscus leucopus*), salamandre rayée (*Plethodon cinereus*), grenouille des bois (*Rana sylvatica*), bécasse d'Amérique (*Scolopax minor*), paruline couronnée (*Seiurus aurocapilla*), sittelle à poitrine rousse (*Sitta canadensis*), chouette rayée (*Strix varia*), ours noir (*Ursus americanus*)

par exemple des routes ou des zones bâties. Les cartes des habitats des espèces et des résistances de mouvement ont formé la base de la modélisation de notre réseau spatial. Pour chacune des 14 espèces, nous avons identifié un réseau qui intègre leurs habitats naturels et les corridors de mouvement potentiels, c'est-à-dire les zones de moindre résistance qui permettent aux espèces de se déplacer d'un habitat à un autre. La connectivité a été évaluée pour l'année 2000 selon l'analyse de la qualité des habitats et de diverses métriques de mesure de la connectivité courte et longue (figure 6).

Nous avons modélisé les conditions climatiques propices à chacune des espèces analysées à une résolution de 10 x 10km. Tout d'abord, les conditions climatiques ont été modélisées sur la période de 1971 à 2000 dans l'Est de l'Amérique du Nord en fonction de la température annuelle moyenne et des précipitations annuelles moyennes. Ensuite, le modèle a été utilisé pour prédire l'avenir des conditions climatiques propices à la vie des espèces dans les années 2025 et 2050 dans quatre scénarios représentatifs des changements climatiques (Nakicenovic et al., 2000; Meehl et al., 2007). Nous avons également produit un scénario d'absence de changements climatiques.

FIGURE 6 : CARTES DE LA CONNECTIVITÉ ET DE LA QUALITÉ DE L'HABITAT MULTI-ESPÈCES POUR L'ANNÉE 2000 UTILISÉES COMME INTRANTS POUR LA PRIORISATION DE LA CONSERVATION POUR LE SCÉNARIO BIODIVERSITÉ



Note: Chaque carte est la somme des cartes de connectivité spécifiques aux espèces correspondantes, normalisée entre 0 et 1, pour une série de mesures sur l'importance de nœud: a) l'importance des nœuds basée sur pour la persistance des espèces dans le réseau selon deux types de connectivité équivalente et des capacités de mouvements [déplacements quotidiens] (Saura et al., 2011); b) l'importance des nœuds basée sur la connectivité et les capacités équivalentes de dispersion natale liée à la reproduction (Saura et al 2011); c) la connectivité à courte portée, soit la centralité des nœuds intermédiaires mesurée en terme de nœuds intermédiaires (Freeman, 1978); d) la qualité de l'habitat; e) la connectivité à longue portée, soit la densité courante sur la base de l'analyse des circuits (McRae et al., 2008; Pelletier et al., 2014); f) la centralité des nœuds mesurée par l'intermédiarité des nœuds avec la source et la destination limitée pour la connectivité entre les montagnes des Laurentides et des Appalaches.

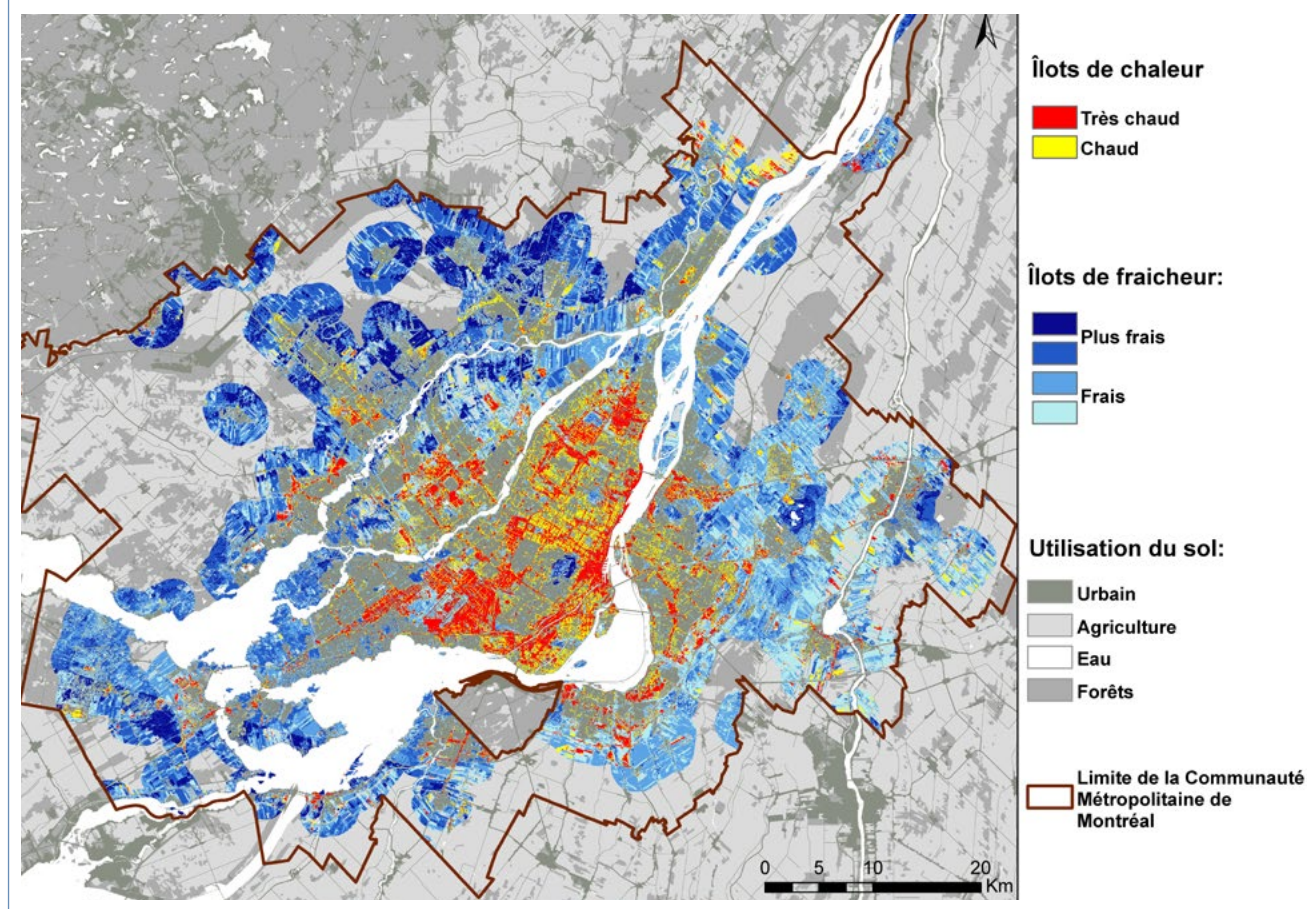
Nous avons utilisé la qualité de l'habitat, la connectivité et les couches de climat pour les 14 espèces cibles comme base pour l'analyse des priorités de conservation spatiale dans le logiciel Zonation. Nous avons ensuite utilisé une fonction du logiciel Zonation (c.-à-d. bénéfices additionnés) afin de superposer les conditions d'habitats et de mouvement propres à chacune des espèces pour générer un réseau de connectivité écologique multi-espèces. Les paramètres d'analyse de la connectivité (c.-à-d. habitat naturel, mouvement potentiel, résistance au déplacement) ont reçu le même poids total que les paramètres climatiques dans l'analyse.

SCÉNARIO BIODIVERSITÉ ET FRAÎCHEUR

Le Scénario biodiversité et fraîcheur priorise la protection des IV qui peuvent à la fois fournir les mêmes bénéfices que dans le Scénario biodiversité (soit la connectivité écologique et l'analyse des conditions climatiques futures) et réduire les effets des îlots de chaleur. Le Scénario biodiversité et fraîcheur montre ainsi comment des objectifs multiples peuvent être intégrés dans un seul établissement de priorités. Bien que nous nous concentrons uniquement sur les deux objectifs (conservation de la biodiversité et lutte aux îlots de chaleur) dans ce scénario, notre méthode pourrait servir à intégrer de nombreux autres services écosystémiques ainsi que des objectifs sociaux, économiques ou environnementaux.

Afin d'identifier les îlots de chaleur dans la CMM, nous avons utilisé les données produites par le CERFO (Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy Inc, 2013), à la demande de l'Institut national de santé publique du Québec.

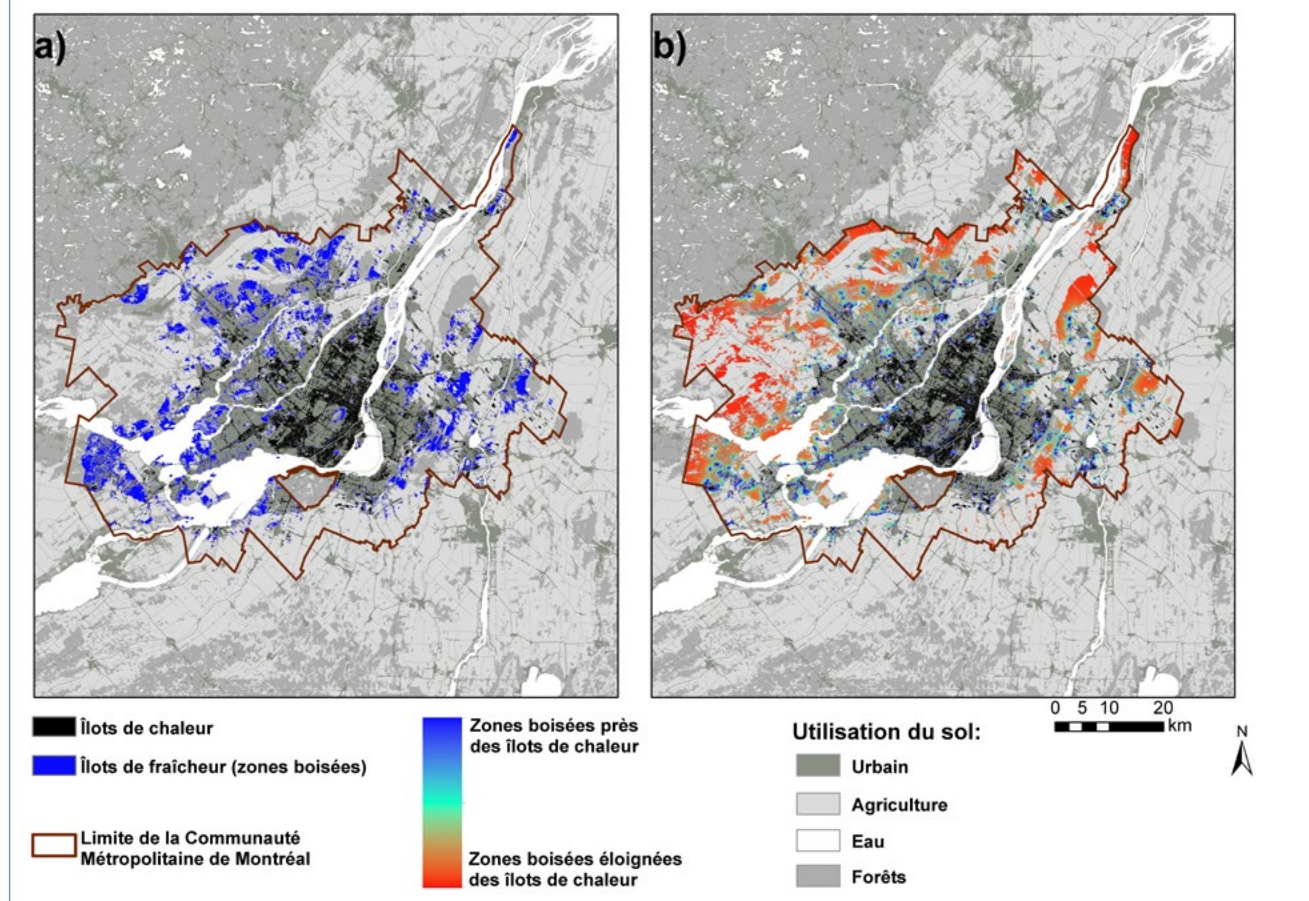
FIGURE 7 : MODÉLISATION DE LA TEMPÉRATURE DE SURFACE DANS LES ZONES URBAINES DE LA CMM AVEC UNE DENSITÉ DE POPULATION SUPÉRIEURE À 400 HABITATS PAR KILOMÈTRE CARRÉ



Ceux-ci ont développé un modèle de prédiction de la température de surface pour localiser les îlots de chaleur et de fraîcheur dans les zones urbaines du Québec (c.-à-d. population supérieure à 400 hab/km²). Sur la base de l'imperméabilité de la surface au rayonnement solaire, ils ont identifié 9 niveaux de température de surface. Pour notre analyse, nous avons utilisé les niveaux 1, 2, 3 et 4 combinés pour former les îlots de fraîcheur et les niveaux 8 et 9 pour les îlots de chaleur³ (figure 7).

En se basant sur la carte de la température de surface et la répartition des forêts dans la CMM, nous avons développé deux critères pour estimer les effets des IV sur la réduction des îlots de chaleur. Le premier critère représente tout simplement les îlots de fraîcheur, identifiés comme étant les niveaux de température de surface 1, 2, 3 et 4 (figure 8a). Le deuxième critère a été dérivé à partir des données sur les îlots de chaleur et du couvert forestier. Pour ce faire, nous avons utilisé la carte de la couverture forestière de l'Observatoire du Grand Montréal (2011), également utilisée dans les outils de planification territoriale de la CMM, qui contient toutes les zones boisées de plus de 0.005km², qui sont cartographiées à une résolution de 10 cm/pixel. Pour maintenir la même résolution que les autres données utilisées dans nos analyses, cette couche de la couverture forestière a été convertie en une image *raster* avec une résolution de 30m x 30m. Nous avons ensuite calculé l'inverse de la distance entre chaque pixel de forêt et l'îlot de chaleur le plus proche (c.-à-d. niveaux de température de surface 8 et 9) et utilisé cette carte inverse de la distance comme critère pour les effets de réduction des îlots de chaleur (figure 8b). Les pixels de forêt à proximité des îlots de chaleur sont priorisés en fonction de ce critère.

FIGURE 8 : A) CARTE DES ÎLOTS DE FRAICHEUR, SOIT LES BOISÉS SITUÉS PRÈS DES ÎLOTS DE CHALEUR (SUR LA BASE DES NIVEAUX DE TEMPÉRATURE DE SURFACE 1, 2, 3 ET 4); B) INVERSE DE LA DISTANCE DES FORÊTS À L'ÎLOT DE CHALEUR LE PLUS PROCHE



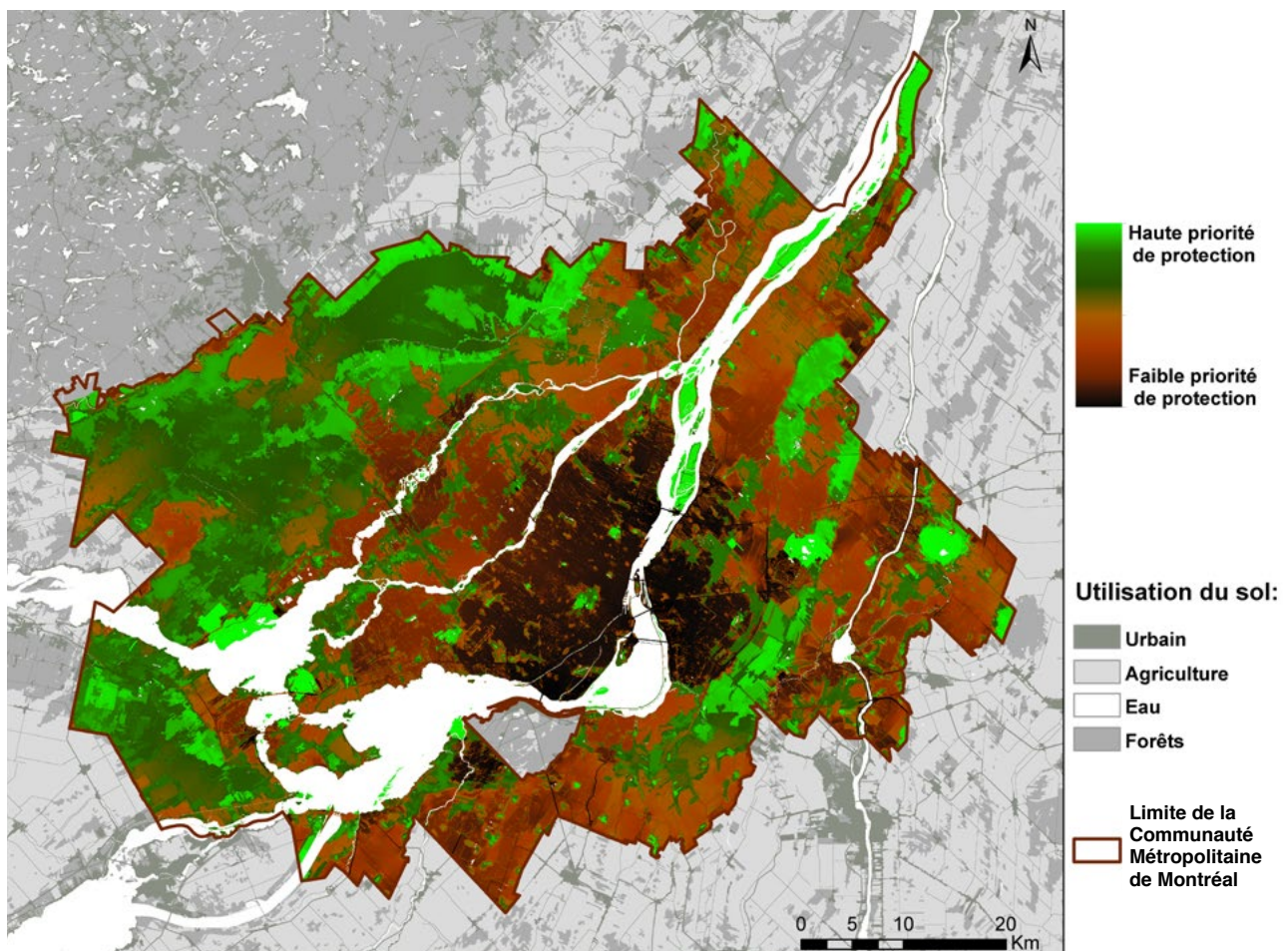
3 Le CERFO a défini neuf niveaux de températures qui sont relatifs. Les niveaux 1 à 4, qui forment les îlots de fraîcheur, incluent généralement les zones boisées et les zones végétalisées plus ouvertes.

Les priorités de conservation spatiales pour les scénarios d'infrastructures vertes

Le Scénario biodiversité priorise l'expansion du réseau d'IV en se basant sur la qualité, la connectivité et les conditions climatiques des habitats de 14 espèces qui représentent la biodiversité dans la région. En plus de ces critères de conservation de la biodiversité, le Scénario biodiversité et fraîcheur priorise également l'expansion des IV basée sur la localisation des forêts qui peuvent réduire les effets des îlots de chaleur. Le Scénario biodiversité et fraîcheur montre comment de multiples objectifs des IV peuvent être intégrés dans un seul scénario d'établissement des priorités de conservation des milieux naturels.

FIGURE 9 : CARTES DES PRIORITÉS DE CONSERVATION POUR LE SCÉNARIO BIODIVERSITÉ

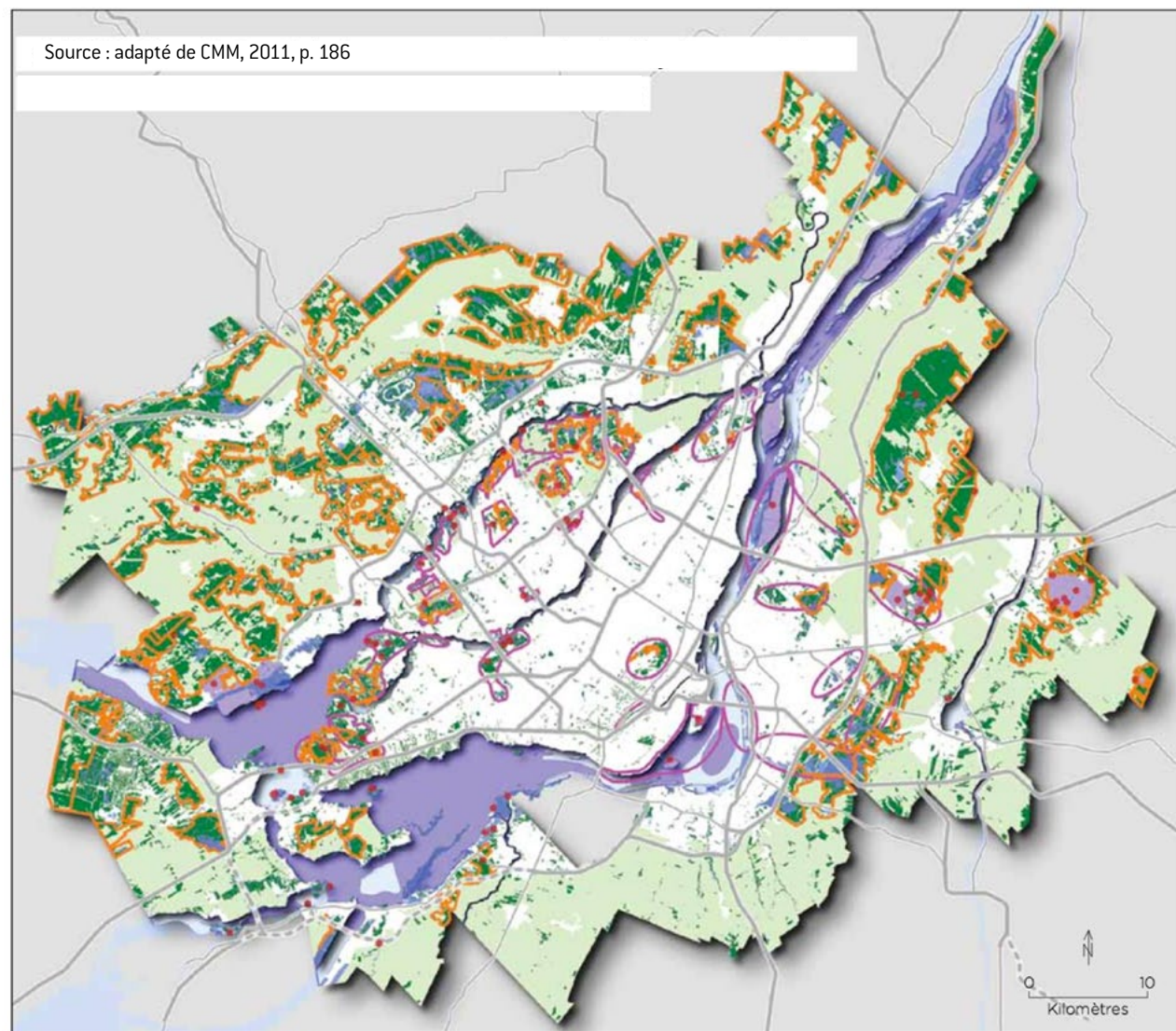
Chaque pixel dans le paysage est classé en fonction de sa priorité de conservation dérivée de la connectivité, de la qualité de l'habitat et de l'adaptabilité climatique des 14 espèces analysées



LES PRIORITÉS DE CONSERVATION DU TERRITOIRE POUR LE SCÉNARIO BIODIVERSITÉ

La carte des priorités de conservation des IV pour favoriser la protection de la biodiversité dans la CMM est présentée à la figure 9. On y observe que les plus hautes priorités de conservation se situent au sein des grands massifs forestiers des rives Nord et Sud, mais que les parcelles de forêts situées dans des milieux hautement urbanisés comme sur les îles de Montréal et Laval sont aussi hautement importantes pour la connectivité régionale. En comparant cette carte avec celle produite par la CMM pour identifier les corridors forestiers métropolitains (figure 10), on note une concordance géographique.

FIGURE 10 : CARTE DES BOIS ET CORRIDORS FORESTIERS MÉTROPOLITAINS IDENTIFIÉS PAR LA CMM DANS LE PMAD



Logements par hectare en 2009

- | | | |
|--|--|-------------------------------|
| Aire protégée | Milieu humide | Couvert forestier |
| Bois et corridor forestier métropolitain | Ensemble écoforestier exceptionnel (EFE) | Territoire d'intérêt régional |
| Zone agricole | | |

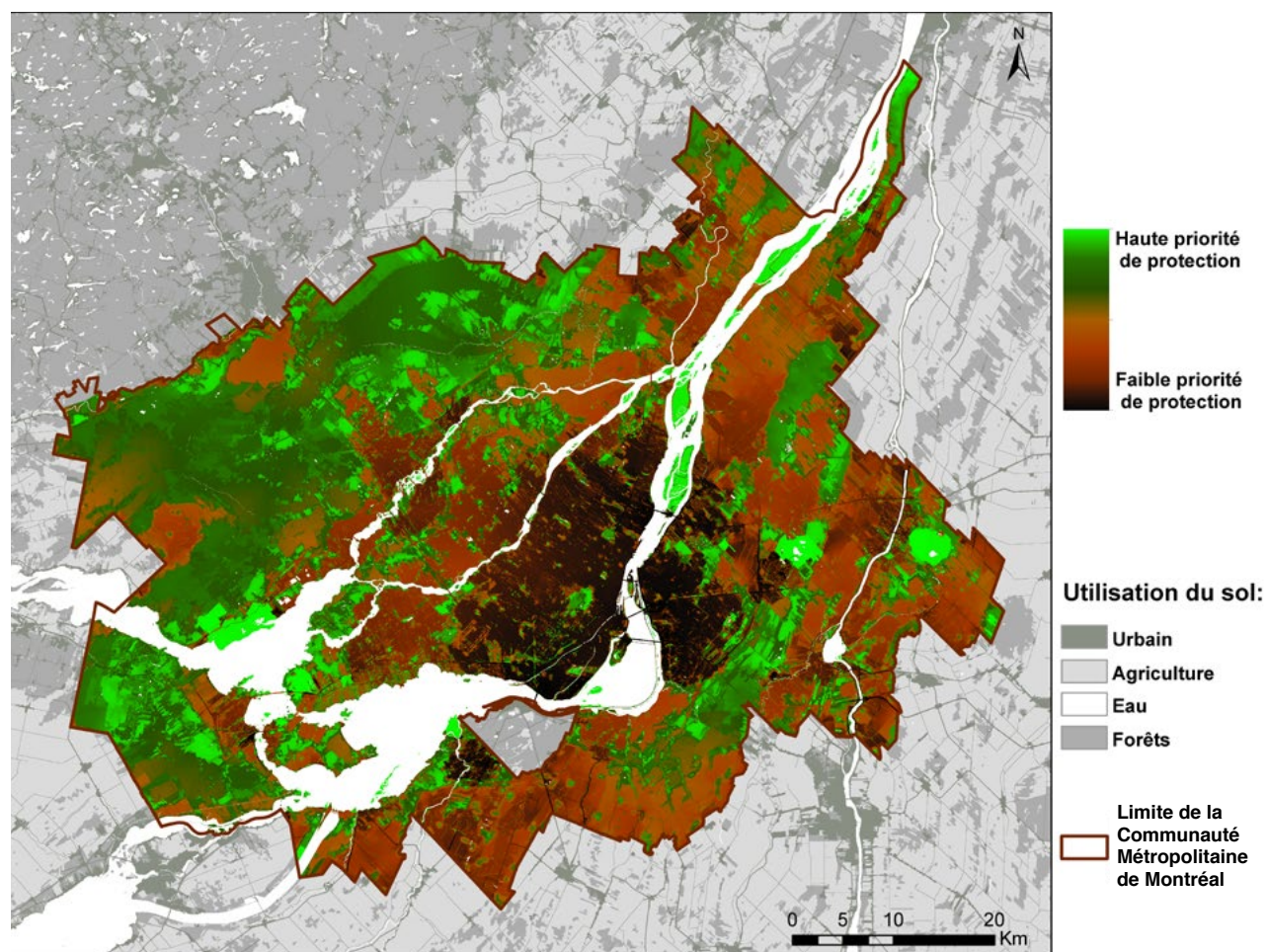
Sources : Milieux humides : Canards illimités, décembre 2010. Aires protégées : Gouvernement du Québec, octobre 2011.

LES PRIORITÉS DE CONSERVATION DU TERRITOIRE POUR LE SCÉNARIO BIODIVERSITÉ ET FRAÎCHEUR

Les priorités en matière de protection du territoire selon le Scénario biodiversité et fraîcheur comprennent de grandes parcelles forestières des rives Nord et Sud de la CMM, mais à la différence du Scénario biodiversité, on remarque qu'un nombre important de zones prioritaires de protection sont concentrées dans les très petites parcelles de forêt dans les grandes zones urbaines, en particulier celles des îles de Montréal et Laval, à Longueuil et à Boucherville (figure 11). Beaucoup de ces petites parcelles en milieu urbain ressortent en raison leur contribution à la réduction des effets des îlots de chaleur urbains. Dans les agro-écosystèmes de la CMM, sur les rives Nord et Sud, la haute priorité de conservation est motivée par la partie biodiversité du scénario analysé. Leur contribution au réseau est donc davantage liée à leur importance pour la connectivité que pour la lutte aux îlots de chaleur.

FIGURE 11 : CARTES DES PRIORITÉS DE CONSERVATION POUR LE SCÉNARIO BIODIVERSITÉ ET FRAÎCHEUR

Chaque pixel dans le paysage est classé en fonction de sa priorité de conservation dérivée de la connectivité, de la qualité de l'habitat, de l'adaptabilité climatique des 14 espèces analysées, ainsi que pour son rôle dans la réduction des îlots de chaleur.

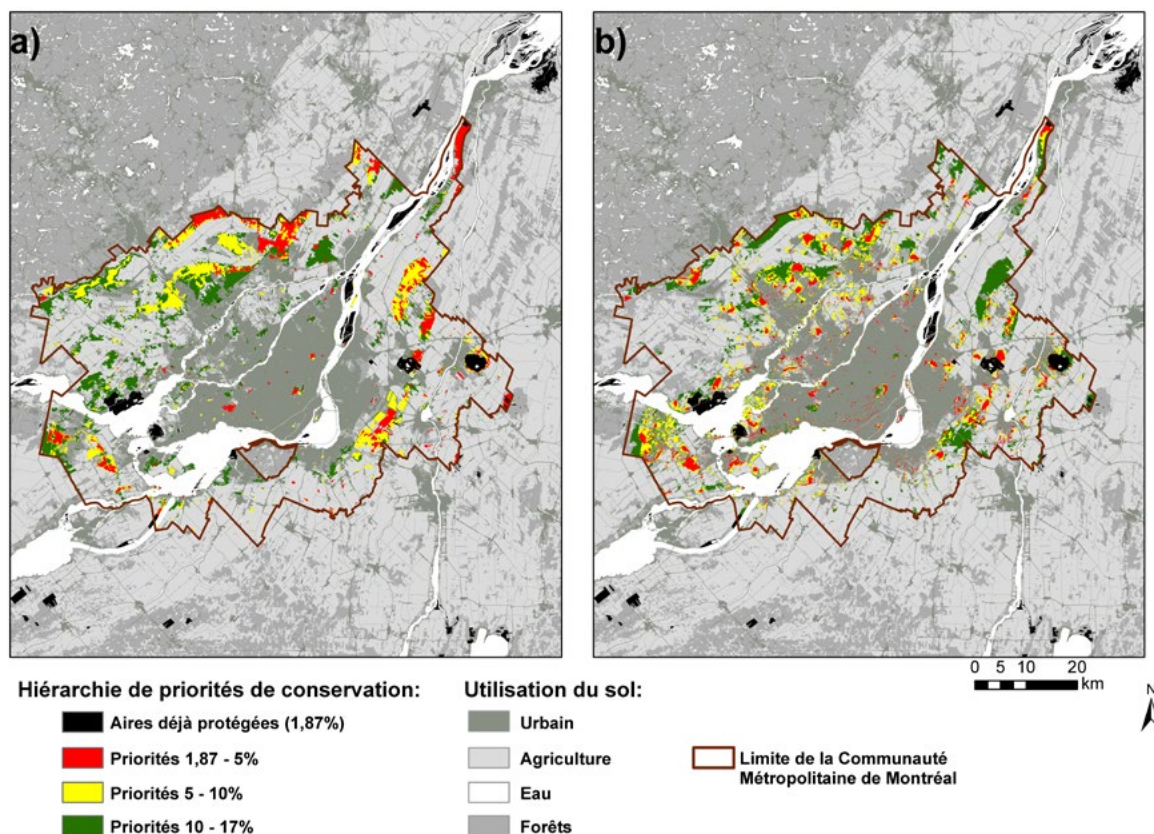


Comparaison entre le Scénario biodiversité et le Scénario biodiversité et fraîcheur

Afin de démontrer les arbitrages spatiaux qui se produisent lorsque des priorités de conservation des IV se basent sur des fonctions multiples, la figure 12 compare les priorités de conservation des IV pour les deux scénarios. Les priorités ici comparées ont été obtenues à partir des classements réalisés dans les figures 9 et 11 et présentées selon 4 niveaux : Niveau 0 (1,87% de protection du territoire, soit les aires déjà protégées); Niveau 1 (5% de protection du territoire); Niveau 2 (10% de protection du territoire); et Niveau 3 (17% de protection du territoire). Dans l'ensemble, on remarque que les zones prioritaires se ressemblent sur les deux cartes. Les deux principales différences qui en émergent sont les suivantes : les priorités de protection selon les niveaux (1,87%, 5%, 10% et 17%) varient et de nouvelles parcelles apparaissent seulement dans le Scénario biodiversité et fraîcheur, soit les petites parcelles de boisés et forêts situées dans les centres urbains et qui réduisent considérablement les effets des îlots de chaleur (reconnaisables par les petits points rouges sur la figure 12b).

FIGURE 12 : COMPARAISON DES PRIORITÉS DE CONSERVATION SELON LES A) SCÉNARIO BIODIVERSITÉ ET B) SCÉNARIO BIODIVERSITÉ ET FRAÎCHEUR.

Les priorisations sont catégorisées selon quatre niveaux de protection du territoire : Niveau 0 - 1,87% (noir); Niveau 1 - 5% (noir et rouge), Niveau 3 - 10% (noir, rouge et jaune), Niveau 4 - 17% (noir, rouge, jaune et vert).

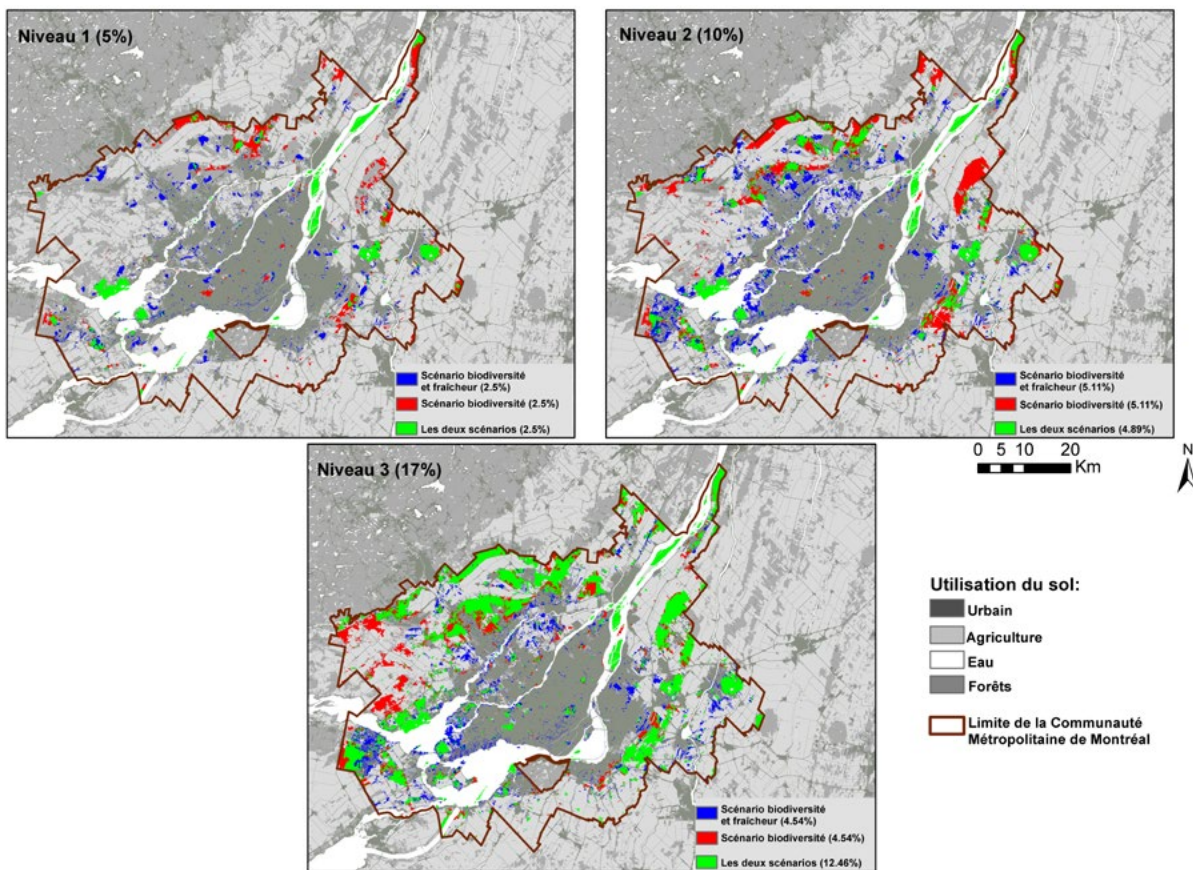


Un examen plus détaillé des différences spatiales de priorités de protection est présenté dans la figure 13. Le degré de chevauchement spatial entre les deux scénarios (les espaces verts de la figure 13) augmente à mesure que le niveau de protection augmente, du Niveau 1 au Niveau 3. La zone de chevauchement du Niveau 1 représente 50% des priorités de protection (soit 2,5% sur 5%), la majorité étant expliquée par les aires protégées déjà existantes (1,8%). Pour le Niveau 2, la zone de chevauchement est de 4,89% (sur 10%) et se situe principalement dans de grandes parcelles de forêt intégrées aux zones agricoles et qui sont des zones importantes pour la conservation de la biodiversité.

Pour Niveau 3, la majorité des zones prioritaires pour la conservation de la biodiversité (Scénario biodiversité) est également inclus dans les priorités du Scénario biodiversité et fraîcheur. En effet, la zone de chevauchement entre les scénarios est de près de 75% (12,6% sur 17%). Les 4,5% restants des zones prioritaires pour le Scénario biodiversité sont en grande partie situées dans la partie ouest de la CMM ou sur les franges des zones urbaines. Les 4,5% restants de zones prioritaires pour le Scénario biodiversité et fraîcheur sont quant à elles en grande partie intégrées dans les zones urbaines, y compris des zones de densité de bâti urbain plus élevée (par exemple l'île de Montréal et les rives Nord et Sud) et les zones de plus faible densité (par exemple Saint-Lazare, le Mont-Saint-Hilaire et Chambly).

FIGURE 13 : CARTES MONTRANT LES DIFFÉRENCES ENTRE LES PRIORITÉS DE CONSERVATION SELON LE SCÉNARIO BIODIVERSITÉ ET LE SCÉNARIO BIODIVERSITÉ ET FRAÎCHEUR

Les zones en vert représentent des priorités de conservation communes, les zones en rouge les priorités pour le Scénario biodiversité et les zones en bleu pour le Scénario biodiversité et fraîcheur.

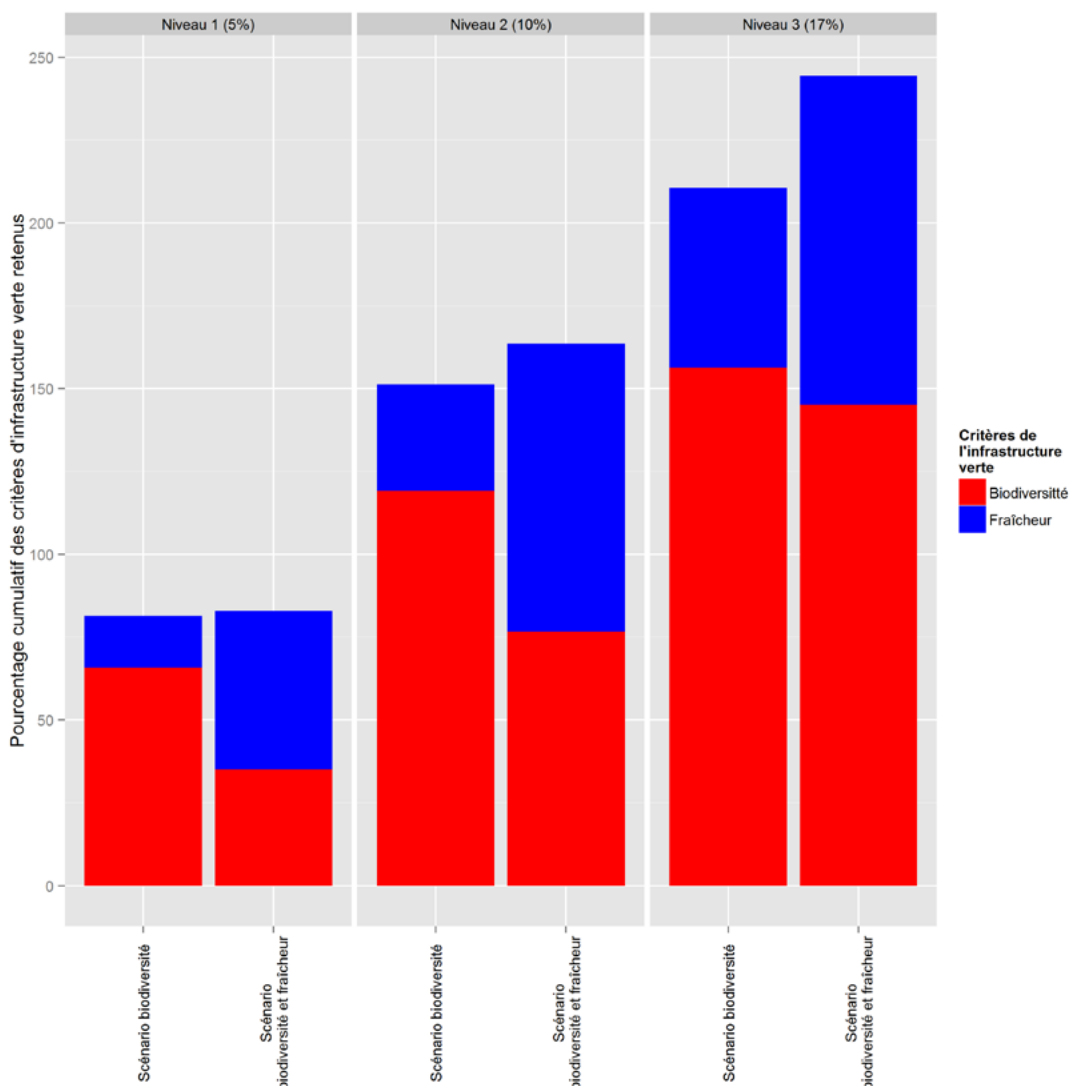


Au-delà des différences spatiales des priorités de conservation entre les deux scénarios, on peut également analyser les différences entre les critères des IV qui sont retenus dans chaque scénario (figure 14). Le montant total de chacun des critères des IV retenus augmente à mesure qu'une plus grande surface du paysage est protégée (du Niveau 1 au Niveau 3). En général, le Scénario biodiversité favorise la protection de la biodiversité, en terme de qualité d'habitats, connectivité et adaptation climatique, alors que le Scénario biodiversité et fraîcheur favorise le critère de réduction des îlots de chaleur.

Cependant, les compromis, et éventuellement les choix qui doivent être faits, entre les critères sont minimisés plus le pourcentage de zones protégées augmente, de telle sorte que lorsque 17% du territoire est protégé, le Scénario biodiversité et fraîcheur est en mesure de conserver la plupart des critères de biodiversité tout en maximisant les effets sur la régulation du climat local. Par conséquent, dans l'éventualité où 17% du territoire serait protégé, une planification basée sur le Scénario biodiversité et fraîcheur générerait presque autant de bénéfices pour la conservation de la biodiversité que le Scénario biodiversité, tout en générant des co-bénéfices importants en terme de lutte aux îlots de chaleur.

FIGURE 14 : COMPARANT LES PERFORMANCES DES SCÉNARIOS BIODIVERSITÉ ET BIODIVERSITÉ ET FRAÎCHEUR

Les scénarios sont comparés selon la proportion des critères de l'infrastructure verte qu'ils intègrent pour les trois niveaux de protection du territoire.



Conclusion



La planification d'un réseau intégrateur d'infrastructures vertes permettrait la création de synergies et favoriserait l'augmentation de la résilience de la région face à des changements globaux qui se font déjà ressentir.

PHOTOS : SHIVAPAT/FLICKR (HAUT) ET ABDALLALLAHH/FICKR (BAS)

LA CMM A UNE FENÊTRE D'OPPORTUNITÉ LIMITÉE pour protéger un réseau d'infrastructures vertes qui répondra aux besoins humains et à ceux de la biodiversité dans un climat changeant. Avec seulement 20% de la couverture forestière restante dans la CMM, nous sommes maintenant en-dessous du seuil où l'arrangement spatial des forêts restantes est essentiel à la conservation de sa biodiversité et des services écosystémiques qui y sont associés (Mitchell et al., 2015). En outre, la hausse des températures due aux changements climatiques et les événements climatiques extrêmes exacerberont les problèmes déjà connus d'îlots de chaleur urbains et d'inondations, qui ont un impact négatif important sur la santé et la qualité de la vie humaine. Le défi auquel nous sommes confrontés est de résorber cette tendance lourde et pour ce faire la création d'un réseau interconnecté d'IV a le potentiel d'améliorer à long terme la qualité de l'environnement naturel et humain. En adoptant une approche coordonnée, basée sur la connectivité des IV, nous pouvons créer un écosystème plus résilient face aux changements climatiques et qui fournira une large gamme de services écosystémiques.

La science de la connectivité et outils de planification et d'aménagement du territoire nécessaires à la création d'un réseau d'IV sont matures et prêts à être appliqués dans la CMM (Gonzalez et al., 2013; Rayfield et al., 2015; Snäll et al., 2015). Dans cette étude, nous démontrons à la fois le bien fondé d'une planification territoriale basée sur les IV et proposons une approche fondée sur la connectivité afin d'élargir le réseau existant au sein de la CMM. Cette approche permet de générer une liste de priorités de conservation à inclure dans un réseau d'IV pour fournir de multiples services écosystémiques essentiels dans un contexte de changements climatiques. Nous avons montré que les réseaux d'IV multifonctionnels peuvent fournir des solutions équilibrées qui répondent simultanément aux exigences en matière de conservation de la biodiversité et de réduction des îlots de chaleur. Cet équilibre entre les fonctions de IV est sensible à la quantité d'aire protégée dans le réseau. En ce sens, plus la superficie du territoire protégé est grande, plus le réseau est apte à fournir de multiples services pour le bien-être humain et de l'environnement. Notre approche peut facilement intégrer d'autres objectifs socio-économiques, au-delà de ceux qui sont illustrés. En ce sens, dans un objectif d'adaptation aux changements climatiques, il serait



intéressant d'inclure à ce modèle dynamique les dimensions de gestion des eaux de ruissellement et des coûts économiques liés à l'adaptation.

De nombreuses villes à travers le monde conçoivent et mettent actuellement en œuvre des réseaux d'IV pour répondre aux besoins de leur population. Nous avons présenté trois études de cas internationales qui mettent en valeur la diversité des approches existantes pour la planification et la gouvernance des IV et qui pourraient être adaptées au contexte socio-environnementale de la CMM. La CMM dispose d'un riche ensemble de milieux naturels et semi-naturels et des initiatives locales novatrices sur lesquels bâtir. La planification d'un réseau intégrateur d'IV permettrait la création de synergies et favoriserait l'augmentation de la résilience de la région face à des changements globaux qui se font déjà ressentir.

Références

- Albert, C.H., Rayfield, B., Dumitru, M., Gonzalez, A. (en préparation) Prioritizing a peri-urban habitat network for biodiversity under land use and climate change.
- Austin, G. (2014) Green infrastructure for landscape planning : integrating human and natural systems. Routledge, Oxford, U.K.
- Arnfield, A.J. (2003) Two decades of urban climate research : a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23 : 1–26.
- Beier, P., Majka, D.R., Spencer, W.D. (2008) Forks in the road : choices and procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology*. 22 : 836-851.
- Benedict, M.A., MacMahon, E.T. (2002) Green infrastructure : Smart conservation for the 21st century. *Renewable Resources Journal*, 20 : 12-17.
- Birch, E. L., Watcher, S. M. (Eds). (2008) *Growing Greener Cities : Urban Sustainability in the Twenty-First Century*. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pennsylvania.
- Casati, B., de Elia, R. (2012) Regional Climate Projections of Temperature Extremes : Will Extremes Warm up Faster than Average Temperatures? OURANOS Newsletter May 2012. URL : www.ouranos.ca/en/newsletter/documents/CasatiEnMay2012.pdf
- CERFO – Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Saint-Foy Inc (2013) Identification et localisation des îlots de chaleur et de fraîcheur pour tout le Québec urbain. Note Technique. 8 p.
- CMM – Communauté Métropolitaine de Montréal (2011) Un Grand Montréal attractif, compétitif et durable. Plan métropolitain d'aménagement et de développement. URL : http://pmad.ca/fileadmin/user_upload/pmad2012/documentation/20120530_PMAD.pdf
- Dale, M.R.T., Fortin, M.-J. (2010) From graphs to spatial graphs. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. 41 : 21-38.
- Dupras, J., Drouin, C., André, P., Gonzalez, A. (2015a) Towards the establishment of a green infrastructure in the region of Montreal (Quebec, Canada). *Planning Practice and Research* 30 : 355-375.
- Dupras, J., Alam, M. J. Revéret. (2015b) Economic Value of Greater Montreal's Non-Market Ecosystem Services in a Land Use Management and Planning Perspective. *The Canadian Geographer/ Le géographe canadien*. 59 : 93-106.
- Dupras, J., Alam, M. (2015). Urban Sprawling and Ecosystem Services : A Half-Century Perspective in the Montreal Region (Quebec, Canada). *Journal of Environmental Policy and Planning*. 17 : 180-200.
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P.J., McDonald, R.I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K.C. (2013) *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services : Challenges and Opportunities*. Springer. New York, USA.
- Freeman, L.C. (1978) Centrality in social networks : conceptual clarification. *Social Networks*. 1 : 215–239.
- Gonzalez, A., Lawton, J.H., Gilbert, F.S., Blackburn, T.M. & Evans-Freke, I. (1998) Metapopulation dynamics, abundance, and distribution in a microecosystem. *Science*. 281 : 2045-2047.
- ISQ – Institut de la statistique du Québec (2009). Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2006-2056, Édition 2009. URL : www.stat.gouv.qc.ca/publications/demograp/pdf2009/perspectives2006_2056.pdf
- IPCC- International Panel on Climate Change (2014) *Climate Change 2014 : Synthesis Report*. IPCC, Genève, Suisse.

- Judek, S., Jessiman, B., Stieb, D., Vet, R. (2004) Estimation de la surmortalité causée par la pollution atmosphérique au Canada, Santé Canada et Environnement Canada.
- Lindenmayer, D.B. & Franklin, J.F. (2002) Conserving forest biodiversity : a comprehensive multiscaled approach. Island Press.
- Margules, C.R., Pressey, R.L. (2000) Systematic conservation planning. *Nature*. 405 : 243-253.
- McMichael, A.J., Woodruff, R.E., Hales, S. (2006). Climate change and human health : present and future risks. *The Lancet*. 367 : 859-869.
- McRae, B.H. (2006) Isolation by resistance. *Evolution*. 60 : 1551–1561.
- McRae, B.H., Dickson, B.G., Keitt, T.H., Shah, V.B. (2008) Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*. 89 : 2712-2724.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J., Zhao, Z.-C. (2007). Global Climate Projections. In : S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being : Synthesis*. Island Press, Washington.
- MRNQ – Ministère des ressources naturelles de la faune du Québec (2008) Base de données topographiques du Québec.
- MRNF – Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec (2003) Normes de cartographie écoforestière, Troisième inventaire écoforestière. 95 p.
- Mitchell, M.E.G., Bennett, E.M., Gonzalez, A., 2013. Linking landscape connectivity and ecosystem service provision : current knowledge and research gaps. *Ecosystems* 16 : 894-908.
- Mitchell, M.G.E., Bennett, E.M., Gonzalez, A., Lechowicz, M.J., Rhemtulla, J.M., Cardille, J.A., Vanderheyden, K, Poirier-Ghys, G., Renard, D., Delmotte, S., Albert, C.H., Rayfield, B., Dumitru, M., Huang, H.H., Larouche, M., Liss, K.N., Maguire, D.Y., Martins, K.T., Terrado, M., Ziter, C., Taliana, L., Dancose, K. 2015. The Montérégie Connection : linking landscape, biodiversity, and ecosystem services to improve decision making. *Ecology & Society*. 20 : 15.
- Moilanen, A. (2007) Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning : unifying reserve selection strategies. *Biological Conservation*., 134 : 571-579.
- Moilanen, A. (2008) Generalized complementarity and mapping of the concepts of systematic conservation planning. *Conservation Biology*. 22 : 1655-1658.
- Moilanen, A., Leathwick, J.R., Quinn, J.M. (2011) Spatial prioritization of conservation management. *Conservation Letters*. 4 : 383–393.
- Moilanen, A., Meller, L., Leppanen, J., Pouzols, F.M., Arponen, A., Kujala, H. (2012) ZONATION v3.1 : Spatial Conservation Planning Framework and Software. User manual. University of Helsinki, Helsinki, Finland.
- Nakicenovic, N. and Swart, R. (Eds.) (2000) *Emissions Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Observatoire du Grand Montréal (2011) Couvert forestier : PMAD : cartes 20, 21, 22 et 24. URL : <http://cmm.qc.ca/donnees-et-territoire/observatoire-grand-montreal/produits-cartographiques/donnees-georeferences/>
- Patz J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J.A. (2005) Impact of regional climate change on human health. *Nature*. 438 :310–317.
- Pelletier, D., Clark, M., Anderson, M.G., Rayfield, B., Wulder, M., Cardille, J.A. (2014) Applying circuit theory for corridor expansion and management at regional scales : tiling, pinch points, and omnidirectional connectivity. *PLoS One*. 9, e84135.
- Possingham, H.P., Ball, I., Andelman, S. (2000) Mathematical methods for identifying representative reserve networks. *Quantitative Methods for Conservation Biology* (eds S. Ferson & M. Burgman), pp. 291-305. Springer-Verlag, New York, USA.

- Pressey, R.L., Humphries, C.J., Margules, C.R., Vane-Wright, R.I., Williams, P.H. (1993) Beyond opportunism – key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology and Evolution*. 8 : 124-128.
- Pressey, R.L., Cabeza, M., Watts, M.E., Cowling, R.M., Wilson, K.A. (2007) Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology and Evolution*. 22 : 583-592.
- Rayfield, B., Pelletier, D., Dumitru, M., Cardille, J.A., Gonzalez, A. (2015). Multipurpose habitat networks for short-range and long-range connectivity : a new method combining graph and circuit connectivity. *Methods in Ecology and Evolution*. doi : 10.1111/2041-210X.12470
- Reyers, B., Roux, D.J., Cowling, R.M., Ginsburg, A.E., Nel, J.L., Farrell, P.O. (2010) Conservation planning as a transdisciplinary process. *Conservation Biology*. 24 : 957-965.
- Saura, S., Estreguil, C., Mouton, C., Rodriguez-Freire, M. (2011) Network analysis to assess landscape connectivity trends : application to European forests (1990–2000). *Ecological Indicators*. 11 : 407–416.
- Schar, C., Jendritzky, G., 2004. Climate change : Hot news from summer 2003. *Nature*, 432 : 559-560.
- Semenza JC, McCullough JE, Flanders D, McGeehin MA, Lumpkin JR. 1999. Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. *American Journal of Preventative Medicine*. 16 : 269–277.
- Seto, K.C. et Dhakal, S. (2012) Chapter 12 : Human Settlements, Infrastructure, and Spatial Planning. In *Climate Change 2014 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. O. Edenhofer, R. Pichs Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, et al. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. URL : www.mitigation2014.org
- Snäll, T., Lehtomäki, J., Arponen, A., Elith, J., Moilanen, A. (2015) Green Infrastructure Design Based on Spatial Conservation Prioritization and Modeling of Biodiversity Features and Ecosystem Services. *Environmental Management*. doi : 10.1007/s00267-015-0613-y
- Sottile, M.-F., Bourdages, L., Côté, H. (2010a) Changements projetés des températures au Québec. OURANOS, Montreal, Canada. URL : www.ouranos.ca/media/publication/190_Temperature2011_webFr.pdf
- Sottile, M.-F., Bourdages, L., Côté, H. (2010b) Changements projetés des précipitations au Québec. OURANOS, Montreal, Canada. URL : www.ouranos.ca/media/publication/200_Precipitations2012_webFr.pdf
- Stern, N. (2006) *The economics of climate change : The Stern review*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Tewksbury, J.J., Levey, D.J., Haddad, N.M., Sargent, S., Orrock, J.L., Weldon, A., Danielson, B.J., Brinkerhoff, J., Damschen, E.I., Townsend, P. (2002) Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *Proceedings of the National Academy of Science*. 99 : 12923-12926.
- TTEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity : Ecological and Economic Foundations*. P. Kumar (Ed.), Earthscan, London, Washington.
- Urban, D.L., Minor, E.S., Treml, E.A., Schick, R.S. (2009) Graph models of habitat mosaics. *Ecology letters*. 12 : 260-273.
- Young, R., Zanders, J., Lieberknecht, K., Fassman-Beck, E. (2014) A comprehensive typology for mainstreaming urban green infrastructure. *Journal of Hydrology*. 519 : 2571-2583.
- Ziter, C., Bennett, E., Gonzalez, A. (2014) Functional diversity and management mediate aboveground carbon stocks in small forest fragments. *Ecosphere* 4 : 85.



PHOTO : JUSTLIZA/WIKIMEDIA COMMONS

Ce rapport démontre le bien fondé d'une planification territoriale basée sur les infrastructures vertes tout en proposant une approche fondée sur la connectivité afin d'élargir le réseau existant au sein de la CMM.



Fondation
David
Suzuki

La Fondation David Suzuki travaille avec les gouvernements, les entreprises et les citoyens pour protéger notre environnement par l'éducation, la science et le plaidoyer, afin de catalyser les changements nécessaires pour vivre en équilibre avec la nature.

www.davidsuzuki.org/fr