



© Jacques Nadeau

ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET VILLES DURABLES

**OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE
VERDISSEMENT DE TERRAINS VACANTS
POTENTIELLEMENT CONTAMINÉS EN
MILIEUX URBAINS**



**FONDATION
DAVID SUZUKI**
Un monde. Une nature.

COORDINATION ET RÉDACTION

Ce projet de recherche a été réalisé par Maxime Fortin Faubert, dans le cadre de l'édition 2018-2019 du programme de bourses de la Fondation David Suzuki, dont la thématique était : « Adaptation aux changements climatiques et villes durables ». Ce programme de bourses vise à soutenir de jeunes chercheurs afin de les aider à trouver des solutions aux grands enjeux environnementaux. Il sert également à réduire les obstacles financiers à la recherche, à offrir du mentorat et à favoriser le leadership et la créativité afin que les boursiers puissent mener leurs recherches et les communiquer pour informer citoyens et décideurs.

CONCEPTION ET RÉDACTION

Maxime Fortin Faubert, Ph.D., chercheur invité – boursier de la Fondation David Suzuki

Louise Hénault-Ethier, Ph.D., professeure associée, Centre Eau Terre Environnement de l'INRS

Catherine Hallmich, ing. M. Sc., cheffe des projets scientifiques, Fondation David Suzuki

RÉVISION SCIENTIFIQUE

Fateh Chebana, Ph. D., professeur à l'INRS

Geneviève Bordeleau, Ph. D., professeure à l'INRS

Karem Chokmani, Ph. D., professeur à l'INRS

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent d'abord remercier la Fondation David Suzuki pour le support financier apporté au projet à travers le programme de bourse. Un remerciement spécial est adressé à Harpreet Johal pour son implication exceptionnelle dans ce programme.

Les auteurs souhaitent également remercier les personnes suivantes pour avoir contribué à l'idéation du projet en partageant des données ou en dialoguant sur le sujet :

Geneviève Hamelin, Direction régionale de santé publique (DRSP)

Guillaume Larocque, Centre de la science de la biodiversité du Québec (CSBQ)

Josée Samson, Service de l'environnement, Ville de Montréal

Kyle Martins, Habitat

Louis-François Tétreault, Direction régionale de santé publique (DRSP)

Lyes Ourabia, Service de l'environnement, Ville de Montréal

Michel Labrecque, Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)

Patrick Benoist, Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)

Patrick Bergeron, Service du développement économique, Ville de Montréal

Paul Leduc, Service du développement économique, Ville de Montréal

CITATION SUGGÉRÉE

Fortin Faubert, M.; Hénault-Ethier, L.; Hallmich, C. 2022. Adaptation aux changements climatiques et villes durables – Outil d'aide à la décision pour le verdissement de terrains vacants potentiellement contaminés en milieux urbains. Fondation David Suzuki. 49 p.

Ce rapport a été réalisé grâce à l'appui financier de la Fondation Echo.

Table des matières

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	iii
SOMMAIRE EXÉCUTIF	vi
LE MANDAT	vi
LES ENJEUX	vi
L'ÉTUDE	vli
LES RÉSULTATS	vii
RECOMMANDATIONS MÉTHODOLOGIQUES	vii
RECOMMANDATIONS AUX DIVERS PALIERS DE GOUVERNEMENT	viii
 1. INTRODUCTION	 1
1.1 RÉVOLUTION INDUSTRIELLE	1
1.2 CONTAMINATION DES SOLS	2
1.3 GESTION DES TERRAINS CONTAMINÉS	2
1.4 VERDISSEMENT URBAIN	3
1.5 PHYTOREMÉDIATION ET PHYTOGESTION	3
1.6 OBJECTIF DE L'ÉTUDE	4
 2. MÉTHODOLOGIE	 5
2.1 DESCRIPTION DE L'APPROCHE EMC-SIG	5
2.2 CRITÈRES D'ÉVALUATION	5
2.3 ACQUISITION DES DONNÉES	7
2.4 TRAITEMENT DES DONNÉES	8
2.4.1 Contrainte 1 – Aire d'étude	8
2.4.2 Contrainte 2 – Occupation des sols	9
2.4.3 Contrainte 3 – Contamination des sols	9
2.4.4 Contrainte 4 – Indice de canopée	10
2.4.5 Facteur 1 – Proportion de couverture végétale haute	10
2.4.6 Facteur 2 – Proportion de zones inondables	11
2.4.7 Facteur 3 – Températures de surface moyennes	11
2.4.8 Facteurs 4 et 5 – Densité de population âgée de 15 ans et moins, et de 65 ans et plus	11
2.4.9 Facteur 6 – Densité de population défavorisée matériellement et socialement	11
2.5 ANALYSE HIÉRARCHIQUE DES PROCÉDÉS	12
2.6 COMBINAISON LINÉAIRE PONDÉRÉE	12

3.	RÉSULTATS	13
3.1	CONTRAINTES	13
3.1.1	Terrains vacants	13
3.1.2	Terrains potentiellement contaminés	13
3.1.3	Indice de canopée	14
3.2	FACTEURS	15
3.3	ANALYSE HIÉRARCHIQUE DES PROCÉDÉS	16
3.4	PRIORITÉS DE VERDISSEMENT DES TERRAINS IDENTIFIÉS	16
3.4.1	Type de propriétaire par priorité de verdissement	16
4.	DISCUSSION	19
4.1	IMPACTS DES CONTRAINTES	19
4.1.1	Identification des terrains vacants	19
4.1.2	Contamination – Accès à l'information et qualité des données	20
4.1.3	Contamination – Recommandations	21
4.1.4	Potentiel de contamination	22
4.1.5	Indice de canopée	23
4.2	IMPACTS DES FACTEURS	24
4.2.1	Couverture végétale haute, zones inondables et température de surface moyenne	24
4.2.2	Population vulnérable	24
4.3	PONDÉRATION DES CRITÈRES FACTORIELS	24
4.4	POTENTIEL DE BONIFICATION MÉTHODOLOGIQUE	25
4.5	POTENTIEL DE VERDISSEMENT DES TERRAINS VACANTS IDENTIFIÉS	26
4.6	AVANTAGES DU VERDISSEMENT	26
5.	CONCLUSION	28
6.	RÉFÉRENCES	29
7.	ANNEXE	36

Liste des tableaux et figures

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Critères d'évaluation utilisés pour évaluer le potentiel de verdissement.	6
Tableau 2. Données spatiales et non spatiales utilisées.	7
Tableau 3. Échelle d'importance à neuf degrés proposée par Saaty (1987).	12
Tableau 4. Superficies des différents types d'utilisation du sol à l'intérieur de l'aire d'étude.	13
Tableau 5. Superficies des différentes classes de canopée.	14
Tableau 6. Matrice de comparaison par paires.	16
Tableau 7. Superficies des différentes classes de priorisation par groupe de propriétaires.	18
Tableau S1. Liens de téléchargement des jeux de données	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Aire d'étude.	8
Figure 2. Critères d'évaluation factoriels utilisés pour la combinaison linéaire pondéré.	15
Figure 3. Carte composite présentant les cinq classes de priorité de verdissement.	17
Figure 4. Exemples d'espaces vacants sur des lots publics à usage routier.	20
Figure S1. Données numériques d'utilisation du sol à l'intérieur de l'aire d'étude.	37
Figure S2. Indice de canopée à l'intérieur de l'aire d'étude.	38
Figure S3. Carte composite présentant les valeurs du score d'adéquation.	39

Liste des sigles et abréviations

(Les termes en italique sont en anglais.)

AE	aire d'étude
AHP	analyse hiérarchique des procédés - <i>Analytic hierarchy process</i>
BPC	biphényles polychlorés
c.-à-d.	c'est-à-dire
C10-C50	hydrocarbures pétroliers contenant de 10 à 50 atomes de carbone
CCSMTL	CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal
CIUSSS	centres intégrés universitaires de santé et de services sociaux
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
CONT	contamination
DMS	densité de population défavorisée matériellement et socialement
DRSP	Direction régionale de santé publique
EMC	évaluation multicritère
ÉTM	éléments traces métalliques
et coll.	et collaborateurs
FCM	Fédération canadienne des municipalités
HAM	hydrocarbures aromatiques monocycliques
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
ICAN	indice de canopée
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
ISS	inégalités sociales de santé
km²	kilomètre carré
LCZ	zones de climat local - <i>Local Climate Zones</i>
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
m²	mètre carré
MELCC	ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MERN	ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
MTESS	ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale
MTQ	ministère des Transports du Québec
OCSO	occupation des sols
p. ex. :	expression française signifiant « par exemple »

PDF	<i>portable document format</i>
PIB	produit intérieur brut
POP15	population âgée de 15 ans et moins
POP65	population âgée de 65 ans et plus
Q1 à Q5	quantile 1 à quantile 5
RSS	régions sociosanitaires
SA	score d'adéquation
SAE	secteur d'activité économique
SIG	système d'information géographique
TS	températures de surface
VH	végétale haute
vs	« <i>versus</i> », expression latine signifiant « contre »
WLC	<i>weighted linear combination</i>
ZI	zones inondables

Sommaire Exécutif

Le mandat

Ce projet de recherche a été réalisé par Maxime Fortin Faubert, dans le cadre du programme de bourses 2018-2019 de la Fondation David Suzuki, axé sur l'adaptation aux changements climatiques et villes durables. Ce programme vise à outiller de jeunes chercheurs afin de les aider à trouver des solutions aux grands enjeux environnementaux. Il sert également à réduire les obstacles financiers à la recherche, à offrir du mentorat et à favoriser le leadership et la créativité afin que les boursiers puissent mener leurs recherches et les communiquer pour informer citoyens et décideurs.

Les enjeux

Dans les dernières années, les infrastructures naturelles et les phytotechnologies ont fait l'objet d'un nombre croissant de rapports scientifiques publiés par la Fondation David Suzuki. Cette série d'études démontre le rôle essentiel des infrastructures naturelles et incite les décideurs à développer davantage le verdissement urbain afin de rendre notre société plus résiliente aux changements climatiques. Tous les services écologiques associés au verdissement urbain deviennent particulièrement importants dans un contexte de développement durable, de restauration des habitats et de résilience des villes face aux changements climatiques. Selon plusieurs experts, le verdissement urbain doit faire



© Louise Héneault-Ethier

partie des mesures phares pour que les municipalités puissent faire face au climat changeant. Dans son nouveau *Plan climat* (Ville de Montréal, 2020e), la Ville de Montréal a réitéré son intention d'augmenter la superficie des aires protégées à 10 % et a annoncé qu'elle allait planter, entretenir et protéger 500 000 arbres sur son territoire (Ville de Montréal, 2016, 2020e). De plus, afin de réduire les inégalités sociales, économiques et environnementales, la Ville désire accorder la priorité aux secteurs vulnérables aux îlots de chaleur et tenir compte de la vulnérabilité de ses citoyens au moment de mettre en œuvre les mesures à venir. Malgré cette volonté, la Ville est confrontée à l'architecture urbaine fortement minéralisée qui limite le déploiement stratégique et équitable des interventions sur l'ensemble du territoire. Devant l'ampleur de ce problème, il apparaît nécessaire et urgent de considérer le potentiel écologique de tous les espaces publics et privés, incluant les sites vacants contaminés. La grande majorité des municipalités canadiennes sont confrontées à la problématique des terrains contaminés qui restent vacants et inoccupés, parfois pendant des décennies, avant qu'on leur trouve une nouvelle vocation. Cette pratique contre-productive représente un frein majeur au développement économique et va largement à l'encontre de plusieurs cibles collectives qui visent à améliorer la résilience des villes face aux changements climatiques, notamment en intensifiant le verdissement urbain, en augmentant la superficie terrestre réservée aux aires protégées et en assurant la pérennité des ressources.

L'étude

Cette étude présente un outil cartographique d'aide à la décision qui définit et hiérarchise les priorités de verdissement des terrains vacants potentiellement contaminés afin d'aider les décideurs municipaux, les organismes et les citoyens à planifier et à déployer des infrastructures naturelles sur leur territoire. L'étude, réalisée sur une superficie de 119,62 km² dans les villes de Montréal et Montréal-Est (Québec, Canada), explore une méthodologie qui intègre l'évaluation multicritère (EMC) aux systèmes d'informations géographiques (SIG). Dix critères d'évaluation ont été sélectionnés et soumis à une analyse hiérarchique des procédés (AHP), afin de se voir attribuer un poids relatif à leur importance respective. Une fois pondérés, ces différents critères ont été superposés via la méthode de combinaison linéaire pondérée, permettant ainsi de générer une carte composite comme règle de décision. L'étude décrit en détail la méthodologie de sorte qu'elle puisse être améliorée et appliquée sur l'ensemble du territoire montréalais, ou sur celui d'autres grandes villes canadiennes.

Les résultats

À l'intérieur du secteur étudié, 6,60 km² d'espaces vacants potentiellement contaminés (5,5 % de l'aire d'étude) ont été évalués pour leur potentiel de verdissement et hiérarchisés en fonction de leur priorité d'aménagement pour augmenter la résilience des villes aux changements climatiques. Les priorités ont été réparties en cinq classes, soit : non prioritaire, peu prioritaire, moyennement prioritaire, prioritaire et hautement prioritaire. Près d'un tiers des espaces évalués (soit 28,45 % ou 1,87 km²) relève des administrations municipales, et de ce tiers, 19,31 % (361 998 m²) des espaces ont été classés prioritaires et hautement prioritaires au verdissement. Ces résultats demeurent préliminaires, car certains paramètres de nature physique, réglementaire, sociale et économique, n'ont pas été pris en considération. Ceux-ci suggèrent néanmoins que les villes ont un grand potentiel pour développer des espaces verts urbains sur leurs terrains vacants potentiellement contaminés afin de répondre à leurs objectifs de verdissement.

Cette étude démontre l'intérêt d'utiliser un outil cartographique d'aide à la décision pour guider les interventions de verdissement de terrains vacants potentiellement contaminés en milieux urbains. En effet, les priorités de verdissement identifiées par l'outil pourraient être utilisées comme règle de décision afin d'augmenter la résilience équitable aux changements climatiques.

Recommandations méthodologiques

Afin de raffiner l'approche et d'obtenir des résultats qui représentent la réalité locale et actuelle, les recommandations suivantes ont été proposées pour les futures recherches dans ce domaine :

1. Consulter plusieurs experts et professionnels locaux, afin d'établir les meilleurs critères d'évaluation pour répondre à chacun des objectifs définis;
2. Consulter plusieurs experts et professionnels locaux, afin d'ajuster la pondération des critères d'évaluation en fonction de leur importance ou préférence relative;
3. Réaliser des analyses de sensibilité afin de mesurer l'impact des différents critères et de leur pondération respective sur les résultats;
4. Procéder à l'évaluation visuelle des espaces vacants afin de confirmer la validité des données disponibles;
5. Faire une analyse de corrélation entre les niveaux connus de contamination des sols et l'historique des codes d'utilisation des biens-fonds de différents sites, afin d'évaluer le potentiel de contamination de l'ensemble des terrains vacants dont l'information est inconnue;
6. Bonifier l'outil afin qu'il puisse cerner les espaces prioritaires en fonction d'objectifs d'aménagement additionnels (p. ex. : le verdissement temporaire, le verdissement permanent et la conservation).

Recommandations aux divers paliers de gouvernement

En plus des recommandations méthodologiques, le présent rapport propose aux divers paliers de gouvernement certaines recommandations destinées à améliorer la transparence et la connaissance du territoire et à favoriser le déploiement d'infrastructures naturelles sur les sites vacants contaminés.

1. L'état de contamination de tous les sols devrait être accessible publiquement, même sur les terrains occupés par un propriétaire privé;
2. Toute étude de caractérisation d'un terrain attestée par un expert visé par l'article 31.65 de la LQE, devrait être portée à l'attention du MELCC et rendu public par le biais d'une base de données ouverte;
3. Considérant l'accessibilité restreinte et disparate de l'information relative à la qualité des sols, nous recommandons au MELCC de travailler de concert avec les villes, afin de centraliser l'information dans une même base de données ouverte. L'information devrait être présentée dans un format unique et contenir l'emplacement géographique de chaque échantillon, ainsi que les résultats d'analyses chimiques qui y correspondent. Ainsi, les chercheurs pourraient utiliser ces données pour réaliser des études à l'échelle du territoire;
4. Tout terrain défriché vacant depuis plus de deux ans devrait faire l'objet d'une étude de caractérisation par obligation légale ou réglementaire;
5. Les gouvernements fédéral et provincial devraient prendre en compte le potentiel des terrains vacants contaminés au moment de planifier l'aménagement du territoire;
6. Les gouvernements municipaux devraient instaurer des incitatifs au verdissement pour les terrains vacants sur leur territoire (p. ex. : taxe supplémentaire pour les terrains vacants qui ne sont pas, ou peu, végétalisés).

1. Introduction

1.1 Révolution industrielle

La révolution industrielle a été marquée par une succession rapide d'innovations qui ont permis l'accélération sans précédent de la croissance économique et démographique globale. Plusieurs industries se sont implantées près des cours d'eau, et un nombre considérable d'ouvriers ont quitté la campagne pour s'installer en ville. Bien qu'avantageux à plusieurs égards, le développement économique a également eu des conséquences dévastatrices sur les écosystèmes terrestres, causées entre autres par un laxisme réglementaire et des pratiques douteuses de gestion du territoire, d'exploitation des ressources et de gestion des déchets toxiques.

En raison des activités industrielles antérieures, on compterait aujourd'hui des dizaines de milliers de terrains contaminés répartis dans l'ensemble des provinces canadiennes (FCM, 2015). Presque toutes les municipalités sont confrontées à cette problématique, mais les grands centres urbains seraient les plus touchés avec une contamination des sols sur plus de 25 % de leur territoire (Benazon, 1995). En 2009, près du tiers de la superficie totale de l'île de Montréal aurait été représenté par des friches urbaines contaminées (Ventix, 2009).



© Jacques Nadeau

Malgré les nombreux progrès réalisés par la société québécoise en matière de protection et de réhabilitation des sols, la province regorge encore aujourd'hui de nombreux sites contaminés, et de nombreux cas continuent de s'inscrire annuellement au Répertoire des terrains contaminés du Ministère (MELCC, 2019b). Selon le plus récent bilan sur la gestion des terrains contaminés du MELCC, la majorité des inscriptions concernerait des terrains affectés par des contaminants organiques (c.-à-d., C10-C50, HAM, HAP et BPC) (Hébert and Bernard, 2013). Par ailleurs, en ce qui a trait à la superficie, la contamination de type mixte (organiques et inorganiques) serait dominante dans plusieurs grandes municipalités du Québec (Ventix, 2009).

Sur le territoire montréalais, bon nombre de carrières et de terrains ont été exploités, vers la fin du 19^e siècle et le début du 20^e siècle, afin de fournir des matériaux (c.-à-d., pierres et briques) pour la construction de maisons et d'édifices (DRSP, 2016). Après leur exploitation, certains de ces sites ont été remblayés par des matériaux de toute nature, souvent constitués de déchets issus des activités environnantes (Santé Montréal, 2016; Ville de Montréal, 2021). Certaines dépressions naturelles et ruisseaux autrefois présents sur l'île de Montréal ont également été remblayés par divers matériaux pour l'aménagement de parcs ou le développement résidentiel ou commercial (Ventix, 2009). Par ailleurs, dans bien des cas, le long du fleuve Saint-Laurent, de la rivière des Prairies, du lac des Deux-Montagnes ou du lac Saint Louis, les berges montréalaises ont été remblayées pour agrandir le territoire. Il n'est donc pas rare qu'un terrain contaminé présente des matières résiduelles utilisées comme remblais. La plupart sont issues de sables des fonderies, de mâchefers, de scories métallurgiques et de bouilloires, de résidus miniers, de déchets domestiques, de morceaux de construction et de débris de démolition (Beaulieu, 2016).

1.2 Contamination des sols

Le sol joue un rôle fondamental dans la survie des êtres humains puisqu'il participe à l'équilibre et à la productivité des écosystèmes. Ses fonctions essentielles de tampon, de filtrage, de stockage et de transformation, perdent malheureusement de leur efficacité lorsque des contaminants et des polluants perturbent son équilibre naturel (Kabata-Pendias, 2010). Bien que souvent interchangeables dans la littérature, les termes «contaminant» et «polluant» désignent des concepts substantiellement différents. Les contaminants font généralement référence à des «substances» dont les concentrations sont supérieures aux teneurs de fond, alors que les «polluants» renvoient habituellement à des contaminants présentant des risques toxicologiques pour les communautés résidentes (Chapman, 2007).

Le Ministère évalue l'ampleur d'une contamination de sol sur la base d'une grille à trois niveaux de critères génériques (critères A, critères B et critères C), décernés dans le but de fixer les objectifs de réhabilitation applicables pour un usage donné. Les critères A correspondent aux teneurs de fond pour les substances inorganiques et aux limites de quantification pour les substances organiques. Les critères B correspondent aux concentrations maximales acceptables pour des terrains résidentiels et certains terrains institutionnels (p. ex. : garderies, centres de la petite enfance, établissements d'enseignement primaire ou secondaire, centres hospitaliers, centres d'hébergement de soins de longue durée), ainsi que pour le premier mètre des aires de jeu des parcs municipaux. Finalement, les critères C correspondent aux concentrations maximales permises pour des terrains à vocation commerciale, industrielle non sensibles et pour certains terrains récréatifs, tels que les pistes cyclables et parcs municipaux (sauf le premier mètre des aires de jeu). Ils correspondent également aux concentrations maximales permises pour des terrains destinés à former l'assiette d'une chaussée ou d'un trottoir (Beaulieu, 2016). Pour connaître les valeurs limites réglementaires établies pour chaque contaminant, consulter l'annexe 2 de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* du Québec (MELCC, 2021).

1.3 Gestion des terrains contaminés

La réhabilitation des sols est un enjeu essentiel pour assurer la pérennité d'un territoire. Au Québec, les critères génériques sont utilisés pour recenser les sols devant être excavés et gérés de façon sécuritaire hors site (*ex-situ*) ou faire l'objet d'un traitement sur place (*in situ*), jusqu'à ce que la contamination atteigne un niveau acceptable pour l'usage du terrain (Beaulieu, 2016). Cela signifie donc que l'atteinte des objectifs de réhabilitation ne se traduit pas nécessairement par une élimination complète des contaminants présents. Un site «réhabilité» qui présente des concentrations supérieures aux critères A demeure donc «contaminé» au sens du mot. Ainsi, un site commercial ou industriel «réhabilité» pourrait redevenir «contaminé» si son usage devenait résidentiel.

Le plus récent bilan sur la gestion des terrains contaminés du MELCC mentionne que l'excavation des sols suivie par l'enfouissement (communément appelée «*dig-and-dump*») demeure aujourd'hui la technique de réhabilitation la plus utilisée au Québec (Hébert et Bernard, 2013). Bien que simple et rapide, cette méthode ne résout pas réellement le problème. Elle ne fait que le déplacer. Toutefois, si la situation le permet, les sols excavés peuvent être traités hors site, grâce à différents traitements biologiques, thermiques et physico-chimiques, avant leur mise en valeur (Hébert et Bernard, 2013). Cependant, la manutention associée à la gestion *ex-situ* (excavation, transport et enfouissement ou traitement) génère de grandes quantités d'émissions de gaz à effet de serre et engendre des frais extrêmement élevés (Kuppusamy et coll., 2016). Différents traitements physiques et chimiques peuvent également être utilisés *in situ*, mais ceux-ci sont généralement privilégiés lorsque les zones contaminées sont difficiles d'accès (c.-à-d., sous un bâtiment ou un stationnement). De plus, la plupart ne conviennent pas vraiment à une contamination à grande échelle puisqu'ils nécessitent de la main-d'œuvre hautement qualifiée et sont très onéreux (Zabbey, Sam, et Onyebuchi, 2017).

En 2009, les coûts unitaires moyens de réhabilitation selon une approche traditionnelle étaient estimés à 85 \$/m² pour le secteur industriel et commercial, et à 142 \$/m² pour le secteur résidentiel (Ventix, 2009). À l'exception du centre de Montréal, ces coûts représentaient entre 50 et 600 % de la valeur foncière des terrains. Des coûts de réhabilitation proches des valeurs marchandes des propriétés ou supérieures à celles-ci compromettent la faisabilité financière des projets de mise en valeur. Ainsi, de nombreux sites contaminés demeurent vacants pendant plusieurs années avant qu'on leur trouve une seconde vocation. En plus de représenter une menace potentielle pour la santé humaine et environnementale, ces terrains limitent la revitalisation des secteurs où ils se trouvent, réduisent l'assiette fiscale des municipalités et contribuent à l'étalement urbain (Beaulieu et coll., 2021; Ventix, 2009).

Les terrains vacants sont souvent intégrés dans des stratégies de développement économique municipales, puisqu'ils représentent des occasions de production de nourriture locale, de création d'emplois, d'augmentation de revenus, et d'attraction de nouveaux résidents (A. Pagano et O'M. Bowman, 2000; Kaethler, 2006; Montréal, 2019). Toutefois, le développement traditionnel et permanent de certains terrains peut ne pas être envisageable pour des raisons physiques (p. ex. : superficie, configuration, localisation et pente), naturelles (p. ex. : risque d'inondation, milieux humides et aires protégées) ou techniques (p. ex. : zonage ou contamination) (A. Pagano et O'M. Bowman, 2000). Dans ces circonstances, il paraît évident que les municipalités devraient considérer le verdissement comme une solution de rechange attrayante pour la valorisation de ces espaces perdus (Fortin Faubert, 2022).

1.4 Verdissement urbain

Tous les services écologiques associés au verdissement urbain deviennent particulièrement importants dans un contexte de développement durable, de restauration des habitats et de résilience des villes face aux changements climatiques (Maure et coll., 2018; Pandey et Maiti, 2020). Selon plusieurs experts, le verdissement urbain doit faire partie des mesures phares pour que les municipalités québécoises puissent faire face aux conséquences du climat changeant (Hénault-Ethier et coll., 2021; Fanny Landry et coll., 2021; Félix Landry et Hénault-Ethier, 2021). La Ville de Montréal reconnaît maintenant les multiples bénéfices écologiques que peuvent apporter les arbres et les espaces verts pour assurer la santé de ses citoyens et minimiser ses dépenses. Dans son nouveau *Plan climat* (Ville de Montréal, 2020e), la Ville a réitéré son intention d'augmenter la superficie des aires protégées à 10 % et a annoncé qu'elle allait planter, entretenir et protéger 500 000 arbres sur son territoire (Ville de Montréal, 2016, 2020e). Afin de réduire les inégalités sociales, économiques et environnementales, la Ville désire accorder la priorité aux secteurs vulnérables aux îlots de chaleur et tenir compte de la vulnérabilité de ses citoyens lors de la mise en œuvre des actions à venir.

Malgré cette volonté, les différentes parties prenantes seront forcément confrontées à l'architecture urbaine fortement minéralisée qui limite le déploiement stratégique et équitable des interventions sur l'ensemble du territoire. Devant l'ampleur de ce problème, il apparaît nécessaire et urgent de considérer le potentiel écologique de tous les espaces publics et privés, incluant les sites dégradés à vocations variées.

1.5 Phytoremédiation et phytogestion

Certains végétaux ont la capacité naturelle de décontaminer les sols (phytoremédiation) en stimulant l'activité microbienne pour la dégradation de divers contaminants organiques ou en séquestrant directement différents métaux dans leurs tissus (Fortin Faubert, Hijri et Labrecque, 2021; Gerhardt, Gerwing et Greenberg, 2017). La phytoremédiation est une stratégie alternative de gestion environnementale en plein essor au Québec. D'ailleurs, la Ville de Montréal accueille des chercheur.e.s de renommée internationale qui bénéficient déjà de certaines parcelles de sites industriels pour faire avancer les connaissances scientifiques dans ce domaine (IRBV, 2021; WWF-Canada, 2019).

L'utilisation de plantes à croissance rapide, comme le saule (*Salix spp.*) et le peuplier (*Populus spp.*), est considérée comme une solution simple, économique et avantageuse pour la gestion de friches contaminées en contexte urbain (McHugh et coll., 2015; Padoan et coll., 2020). En plus de répondre à des besoins directs d'assainissement, ces plantes composent des infrastructures naturelles qui améliorent la gestion des eaux de ruissellement, tout en limitant le lessivage et la propagation des contaminants vers les eaux souterraines et les écosystèmes aquatiques avoisinants, contribuant ainsi à une meilleure stratégie de gestion du risque (Ferro et coll., 2003; Fortin Faubert et coll., 2021; Mirck et Volk, 2010; R  th, Lennartz et Kahle, 2007).

De plus, une telle transformation du paysage apporte des changements durables, notamment en augmentant la séquestration de gaz à effet de serre (Cunniff et coll., 2015; McHugh et coll., 2015), en réduisant l'effet d'îlots de chaleur (Al-Saadi, Jaber et Al-Jiboori, 2020; Pearsall, 2017), en atténuant la pollution de l'air (Nowak, Crane et Stevens, 2006; Prigioniero et coll., 2021; Weyens et coll., 2015) et en consolidant les corridors naturels nécessaires à la dispersion de la flore et au déplacement de la faune, facteurs essentiels à la conservation et à l'amélioration de la biodiversité (Pandey et Maiti, 2020; Villase  nor et coll., 2020).

1.6 Objectif de l'étude

La présente étude a pour objectif de développer un outil cartographique d'aide à la décision pour le verdissement des terrains vacants potentiellement contaminés. Ce projet pilote explore donc une méthodologie d'évaluation multicritère (EMC) fondée sur les systèmes d'information géographique (SIG) qui hiérarchise le potentiel de verdissement des espaces étudiés. Un territoire limité de l'  le de Montréal a été sélectionné pour tester la méthodologie proposée qui pourra éventuellement être améliorée et reproduite sur l'ensemble du territoire montréalais, ainsi que sur le territoire d'autres grandes villes canadiennes. Le développement d'un tel outil cartographique facilitera certainement la prise de décisions des grandes administrations pour la réalisation de projets de verdissement.

2. Méthodologie

2.1 Description de l'approche EMC-SIG

Une méthodologie intégrant l'EMC aux SIG a été explorée dans la présente étude en vue de développer un outil d'aide à la décision destiné aux décideurs municipaux, aux organismes et aux citoyens, pour guider les interventions de réaménagement de terrains vacants potentiellement contaminés. Une approche binomiale (EMC-SIG) permet de combiner différents critères d'évaluation afin de concevoir des modèles d'adéquation optimale qui répondent à un ou plusieurs objectifs de réaménagement. Dans une telle approche, les différents critères d'évaluation peuvent prendre la forme de contraintes et de facteurs, représentés comme des couches géographiques distinctes. Les **contraintes** indiquent les zones étant appropriées ou inappropriées pour l'étude, alors que les **facteurs** augmentent ou diminuent la pertinence d'une zone appropriée à répondre à un objectif défini. Les différents critères d'évaluation sélectionnés ont été soumis à une analyse hiérarchique des procédés (AHP), afin de leur attribuer un poids relatif à leur importance ou à leur préférence. Une fois pondérées, les différentes couches ont été superposées via la méthode de combinaison linéaire pondérée ou « *weighted linear combination* » (WLC), afin de générer une carte composite comme règle de décision. Cette méthode est l'une des plus utilisées en évaluation multicritère puisqu'elle est relativement simple et facile à mettre en œuvre (Jaimes et coll., 2012).

2.2 Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation utilisés pour évaluer la priorisation de verdissement sur l'aire d'étude incluent quatre contraintes et six facteurs (**Tableau 1**). Les contraintes sont au cœur de la démarche et prennent la forme de cartes ayant deux seules valeurs possibles, soit « 1 » ou « 0 ». La valeur « 1 » correspond aux zones à inclure dans l'analyse (appropriées), alors que la valeur « 0 » correspond aux zones à exclure de l'analyse (inappropriées). Les quatre contraintes sélectionnées pour répondre à l'objectif de la présente étude étaient : les limites de l'aire d'étude (AE); l'occupation des sols (OCSO); le potentiel de contamination des sols (CONT); et l'indice de canopée (ICAN). Ainsi, les zones situées à l'extérieur de l'aire d'étude, les terrains non vacants, les espaces qui ne présentaient aucun potentiel de contamination et les espaces qui contenaient une strate arborescente (végétation haute) ou encore des structures minérales hautes ont d'emblée été exclues de l'évaluation multicritère.

Les six facteurs (**Tableau 1**) ont, pour leur part, été sélectionnés en fonction des objectifs de verdissement montréalais présentés dans le *Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal* de 2015-2020 (Ville de Montréal, 2017a), ainsi que dans le nouveau Plan climat Montréal de 2020-2030 (Ville de Montréal, 2020e).

Ils sont donc liés à la proportion de couverture végétale haute à proximité, à la proportion de zones inondables à proximité, aux températures de surface moyennes à proximité, à la densité de population âgée de 15 ans et moins à proximité, à la densité de population âgée de 65 ans et plus à proximité, et à la densité de population défavorisée matériellement et socialement à proximité.

Dans le cadre de cette phase exploratoire, le seuil de proximité des six facteurs a été établi à 200 mètres, puisque cette valeur est généralement utilisée comme rayon pour délimiter les zones climatiques locales (« Local Climate Zones », ou LCZ) en milieu urbain (Foissard, Dubreuil, et Quénot, 2019; Stewart et Oke, 2012).

LCZ est un concept qui utilise les caractéristiques urbaines pour définir différentes catégories de zones à l'échelle des quartiers. Le *Canadian Urban Environmental Health Research Consortium* (CANUE) est une des organisations qui ont adopté cette approche pour estimer la magnitude de certains phénomènes, comme celui des îlots de chaleur urbains (Canue, 2022). Les LCZ peuvent également être utilisés pour établir des liens entre le territoire et la qualité de l'air, l'exposition au pollen et les inondations urbaines (Kaveckis et Bechtel, 2014).

Les valeurs d'origine de différentes couches géographiques ont donc été transformées en fonction des valeurs présentes dans un rayon de 200 m (voir section 2.4 Traitement des données), afin de créer des critères factoriels permettant de répondre à l'objectif de verdissement proposé dans la présente étude. Les données transformées ont finalement été normalisées en fonction des valeurs présentes à l'intérieur de l'aire d'étude pour que l'ensemble des valeurs de chaque critère varient entre « 0 » et « 1 ». Les valeurs normalisées ont été utilisées comme valeur de priorisation de verdissement pour augmenter la résilience aux changements climatiques.

Tableau 1. Critères d'évaluation utilisés pour évaluer le potentiel de verdissement.

CRITÈRE D'ÉVALUATION (Contrainte)	SOUS-CRITÈRE (Indicateur)	VALEUR ¹	INTERPRÉTATION
1. AE - Aire d'étude	Intérieur de l'aire d'étude	1	Approprié
	Extérieur de l'aire d'étude	0	Inapproprié
2. OCSO - Occupation des sols	Terrain vacant	1	Approprié
	Terrain occupé	0	Inapproprié
3. CONT - Potentiel de contamination des sols	Avis inscrit au registre foncier	1	Approprié
	Inventaire des sites contaminés fédéraux	1	Approprié
	Répertoire des terrains contaminés du MELCC	1	Approprié
	Études de caractérisation demandées	1	Approprié
	≤ 50 m d'une ancienne carrière ou d'un dépotoir	1	Approprié
	≤ 10 m d'un terrain historiquement contaminé	1	Approprié
	≤ 25 m d'une zone ferroviaire	1	Approprié
	Ne présente pas de potentiel de contamination	0	Inapproprié
4. ICAN - Indice de canopée	Minéralisation haute	0	Inapproprié
	Minéralisation basse	1	Approprié
	Végétation haute	0	Inapproprié
	Végétation basse	1	Approprié
	Aquatique	0	Inapproprié
CRITÈRE D'ÉVALUATION (Facteur)	SOUS-CRITÈRE (Indicateur)	VALEUR ²	INTERPRÉTATION
1. VH - Proportion de couverture végétale haute à proximité (dans un rayon de 200 m).	Pourcentage le plus élevé	0,00	Non prioritaire
	Pourcentage le plus faible	1,00	Hautement prioritaire
2. ZI - Proportion de zones inondables à proximité (dans un rayon de 200 m).	Pourcentage le plus élevé	1,00	Hautement prioritaire
	Pourcentage le plus faible	0,00	Non prioritaire
3. TS - Température de surface moyenne à proximité (dans un rayon de 200 m).	Valeur la plus élevée	1,00	Hautement prioritaire
	Valeur la plus faible	0,00	Peu prioritaire
4. POP15 - Densité de population âgée de 15 ans et moins à proximité (dans un rayon de 200 m).	Valeur la plus élevée	1,00	Hautement prioritaire
	Valeur la plus faible	0,00	Peu prioritaire
5. POP65 - Densité de population âgée de 65 ans et plus à proximité (dans un rayon de 200 m).	Valeur la plus élevée	1,00	Hautement prioritaire
	Valeur la plus faible	0,00	Peu prioritaire
6. DMS - Densité de population défavorisée matériellement et socialement à proximité (dans un rayon de 200 m).	Valeur la plus élevée	1,00	Hautement prioritaire
	Valeur la plus faible	0,00	Peu prioritaire

AE : Aire d'étude, OCSO : Occupation des sols, CONT : Contamination des sols, ICAN : Indice de canopée, VH : Proportion de couverture végétale haute à proximité, ZI : proportion de zones inondables à proximité, TS : températures de surface moyenne à proximité, POP15 : densité de population âgée de moins de 15 ans à proximité, POP65 : densité de population âgée de plus de 65 ans à proximité, DMS : densité de population défavorisée matériellement et socialement à proximité .1 Valeurs discrètes.

2 Valeurs continues.

2.3 Acquisition des données

Les données spatiales et non spatiales utilisées pour la création des critères d'évaluation ont été obtenues en consultant des bases de données ouvertes municipales, provinciales, fédérales ou privées, ainsi qu'en procédant à des demandes d'accès à l'information (**Tableau 2**). Toutes les données ont été transformées, traitées, analysées et projetées dans le système de coordonnées de référence NAD83/MTM zone 8, à l'aide du logiciel R V.3.5.1 (R Core Development Team 2021) et du logiciel Quantum GIS (QGIS Development Team 2021).

Tableau 2. Données spatiales et non spatiales utilisées.

DONNÉE	ANNÉE	FORMAT	SOURCE
Limites terrestres de l'île de Montréal	2019	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Limites terrestres de la zone d'étude	2019	SHP	GitHub - Maxime Fortin Faubert
Limite administrative de Montréal	2020	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Réseau hydrographique national	2021	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Grands parcs, parcs et espaces verts	2022	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Données cadastrales du Québec	2019	SHP	Banque de données cadastrales du Québec
Données numériques d'utilisation du sol	2016	SHP	Observatoire Grand Montréal - Communauté métropolitaine de Montréal (CMM)
Terrains vacants industriels du SIPI	2019	PDF	Service développement économique - Ville de Montréal (Montréal 2019)
Données cartographiques Google	2019	----	Google Earth
Avis de contamination (Montréal)	2019	PDF	Registre foncier - via la liste des terrains contaminés de la Ville de Montréal
Avis de contamination (Montréal-Est)	2019	PDF	Registre foncier - via la liste des terrains contaminés de la Ville de Montréal-Est
Études de caractérisation de sol	2019	PDF	Demande d'accès à l'information - Ville de Montréal (Service de l'environnement)
Inventaire des sites contaminés fédéraux	2019	CSV	Portail du gouvernement ouvert - Gouvernement du Canada
Réseau ferroviaire	2017	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Anciennes carrières et dépôts de surface	2019	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Répertoire des terrains contaminés du QC.	2019	GPKG	Données Québec - MELCC
Indice canopée métropolitain	2019	TIF	Observatoire Grand Montréal - Communauté métropolitaine de Montréal (CMM)
Vulnérabilité aux crues	2015	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Vulnérabilité aux pluies abondantes	2015	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal
Températures de surface	2012	TIF	Données Québec - Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)
*Îlots de diffusion	2016	SHP	Statistique Canada - Canada
Attributs pour îlots de diffusion	2016	XLSX	Statistique Canada - Canada
*Aires de diffusion	2016	SHP	Statistique Canada - Canada
Attributs pour aires de diffusion	2016	CSV	Statistique Canada - Canada
Indice de défavorisation	2016	SHP	Données Québec - Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)

Consultez le *Tableau S1* en annexe pour accéder aux liens de téléchargement des jeux de données. SHP: Shapefile, CSV: Comma-separated values, PDF: Portable Document Format, GPKG: Geopackage, TIF : Tagged Image File Format, XLSX: Excel spreadsheet created by Microsoft Excel. *Les îlots de diffusion et les aires de diffusion sont des unités géographiques utilisés dans le recensement.

2.4 Traitement des données

2.4.1 Contrainte 1 – Aire d'étude

L'aire d'étude était située sur l'île de Montréal, dans la province du Québec (Canada). Seule la partie située à l'est du boulevard Pie-IX a été incluse dans l'analyse (**Figure 1**). La délimitation a été exécutée manuellement à partir des polygones correspondant aux *Limites terrestres de l'île de Montréal* (Ville de Montréal 2020b). L'aire d'étude présente une superficie de 119,62 km² et inclut la totalité de la Ville de Montréal-Est ainsi que trois arrondissements de la Ville de Montréal (Rivière-des-Prairies-Pointe-aux-Trembles, Anjou et Saint-Léonard). Elle inclut également une portion de quatre autres arrondissements de la Ville de Montréal (Montréal-Nord, Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension, Rosemont-La-Petite-Patrie et Mercier-Hochelaga-Maisonneuve). La base de données cadastrales du Québec (MERN, 2019) a été consultée afin de positionner les polygones de lot à l'intérieur de l'aire d'étude et identifier les propriétaires.

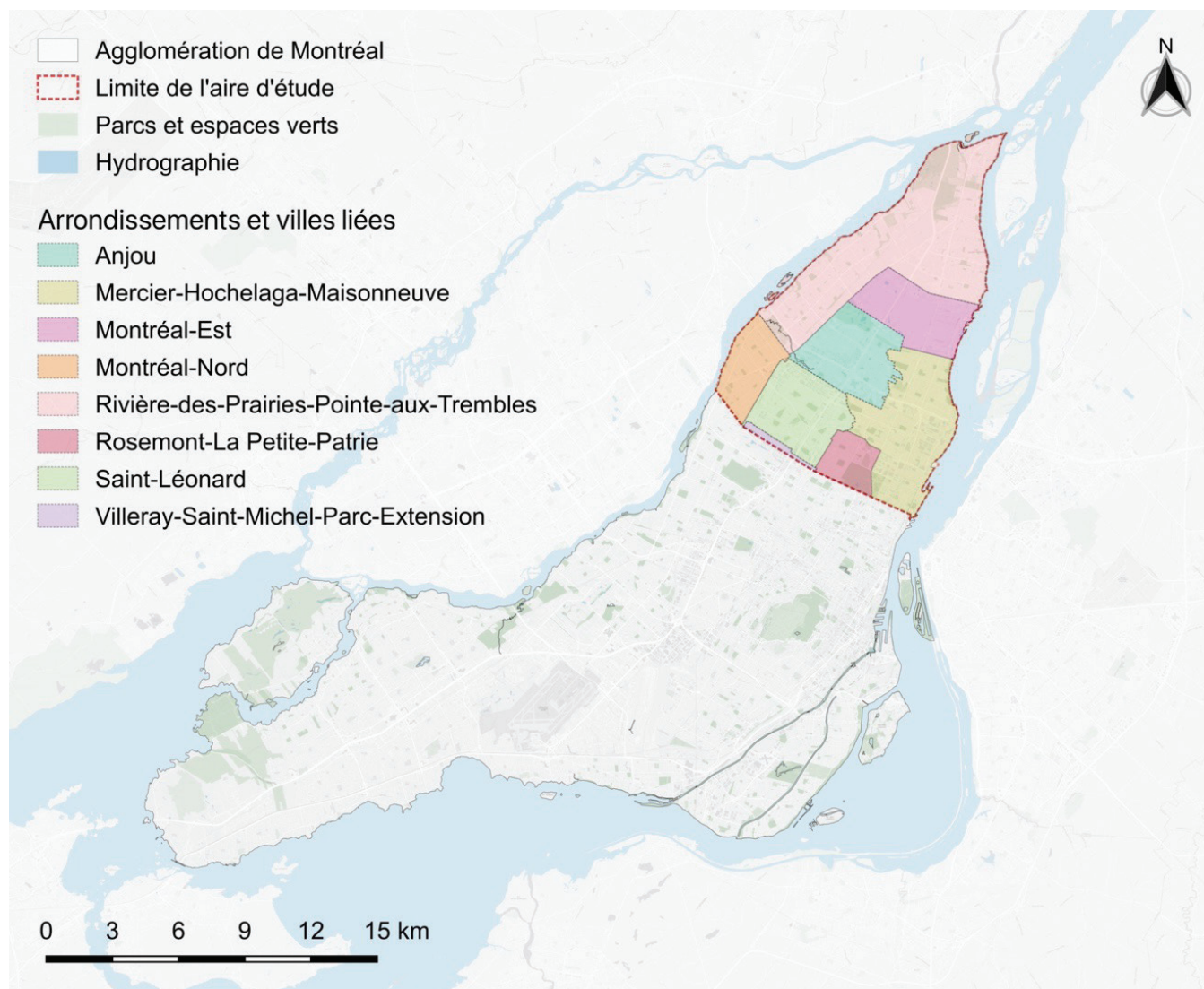


Figure 1. Aire d'étude.

Sources : *Limites terrestres de l'île de Montréal*, Ville de Montréal, 2019; *Limite administrative de l'agglomération de Montréal*, Ville de Montréal, 2020; *Grands parcs, parcs d'arrondissements et espaces publics*, Ville de Montréal, 2022; *Réseau hydrographique national*, Ville de Montréal, 2021; Gray Light, Esri Canada. Cartographie : Maxime Fortin Faubert. Projection : NAD83 (CSRS)/MTM zone 8.

2.4.2 Contrainte 2 – Occupation des sols

Les données numériques d'utilisation du sol de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM, 2016), ainsi que la carte des terrains industriels vacants publiée par le Service de développement économique de la Ville de Montréal (Montréal, 2019) ont été utilisées pour identifier les espaces vacants à l'intérieur de l'aire d'étude. La CMM définit les espaces vacants en fonction de l'usage principal des lots du Québec, comme le démontre le dernier rôle foncier ou, lorsque nécessaire, comme l'illustre la dernière orthophoto disponible (CMM, 2016). De son côté, le Service de développement économique de la Ville de Montréal s'est principalement basé sur des observations de terrain pour identifier les espaces vacants dans l'est de l'île de Montréal (Montréal, 2019). Certains lots et parties de lots ont également été définis comme étant vacants, de façon manuelle et subjective par l'auteur, sur la base d'observations sur le terrain et d'images aériennes (Google Earth, 2019).

2.4.3 Contrainte 3 – Contamination des sols

Plusieurs données spatiales et non spatiales ont été consultées pour repérer les lots et parties de lots vacants présentant un potentiel de contamination. Le mot « potentiel » signifie que tous les sites identifiés dans la présente étude ne sont pas nécessairement contaminés (au sens du terme ou de la loi) ou problématiques pour les écosystèmes environnants. Ainsi, tous les lots et les parties de lots ayant un historique de contamination connue ont été identifiés et pris en compte dans l'évaluation multicritère afin de ne pas exclure l'ensemble des espaces « réhabilités » qui pourraient redevenir « contaminés » advenant un changement d'usage.

Les terrains ayant eu une inscription au Registre foncier ont été recensés en consultant la liste des terrains contaminés disponible sur les sites Internet de la Ville de Montréal (Ville de Montréal, 2019b) et de la Ville de Montréal-Est (Ville de Montréal-Est, 2019). Sur la base des informations contenues dans les avis de contamination, de décontamination et de restriction d'utilisation, les lieux recensés ont pu être positionnés et délimités à l'intérieur de l'aire d'étude. Le Service de l'environnement de la Ville de Montréal a fortement contribué à cette étape. En vertu de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels, une demande d'accès à l'information a été adressée au Service de l'environnement de la Ville de Montréal dans le but d'obtenir de l'information concernant une soixantaine de lots vacants qui ne faisaient pas l'objet d'une inscription au Registre foncier. Sur la base des informations obtenues, certains lieux ont pu être positionnés et délimités à l'intérieur de l'aire d'étude.

L'inventaire des sites contaminés fédéraux a également été consulté (Gouvernement du Canada, 2019). Celui-ci incluait 33 sites situés dans l'aire d'étude. Selon le Bureau du contrôleur général, cet inventaire ne contiendrait pas d'études ou de rapports concernant la contamination des sites qui y figurent. Par conséquent, aucune demande d'accès à l'information n'a été officiellement formulée. Même si certains de ces sites semblent vacants en raison de l'absence de bâtiment et d'une végétation faible, aucun des sites contaminés fédéraux ne serait réellement vacant selon la carte de la CMM (CMM, 2016). Pour ces raisons, aucun site fédéral n'a été retenu pour la présente étude. Finalement, le Répertoire des terrains contaminés du MELCC a été consulté pour identifier et délimiter les terrains vacants ayant un historique de contamination de sol à l'intérieur de l'aire d'étude (MELCC, 2019b).

Certains lots et parties de lots vacants ont également été considérés comme étant potentiellement contaminés en raison de leur proximité d'un ancien site d'enfouissement, d'un terrain ayant un historique de contamination connue ou suspecté, ou d'une emprise ferroviaire. La carte des *anciennes carrières et dépôts de surface du territoire montréalais* (Ville de Montréal, 2019a) a été utilisée pour identifier les terrains vacants potentiellement contaminés à proximité de ces zones. Le CCSMTL utilise une zone tampon de 50 mètres autour des anciens dépotoirs afin de déterminer le nombre de bâtiments sensibles possiblement à risque. Cette zone est utilisée pour pallier l'incertitude des délimitations de la source ainsi que la possibilité de migration latérale de biogaz (Tétreault et Hamelin, courriel, 31 janvier 2020). Ainsi, les espaces vacants situés à une distance inférieure ou égale à 50 mètres (≤ 50 m) d'une ancienne carrière ou d'un ancien dépotoir ont été considérés comme étant potentiellement contaminés.

En raison du risque de contamination par migration, le MELCC demande aux propriétaires de terrains contaminés d'aviser les propriétaires voisins lorsque des contaminants sont mesurés à la limite d'une propriété (Beaulieu, 2016). Pour cette raison, les lots vacants situés à une distance inférieure ou égale à 10 mètres (≤ 10 m) des limites d'un terrain ayant un historique de contamination ont été pris en compte dans la présente étude. Les historiques de contamination ont été obtenus en consultant les données précédemment abordées dans cette section. Certains terrains identifiés sur la carte des terrains vacants, présentée dans la *Vision de développement économique du territoire Secteur industriel de la Pointe-de-l'Île* (Montréal, 2019) ont également été considérés comme étant potentiellement contaminés en raison du type de contrainte de développement (c.-à-d., potentiellement contaminé) identifié par la Ville.

Le transport ferroviaire a été identifié comme étant une source importante de pollution des sols. En général, cette activité est liée à une présence anormale d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de différents éléments traces métalliques (ÉTM) dans les sols adjacents (Liu et coll., 2009; Strelkov et coll., 2016; B. Witkomirski et coll., 2011; Boguslaw Witkomirski et coll., 2012). Dans les zones ferroviaires, les HAP proviennent essentiellement des graisses, des carburants et des huiles pour transformateurs, ainsi que de la créosote utilisée comme agent d'imprégnation pour les traverses de chemin de fer (B. Witkomirski et coll., 2011). Les ÉTM proviennent, quant à eux, de la combustion de carburant, de fuites de cargaison, de l'abrasion des matériaux de construction et de l'usure des voies, des roues et des freins (Liu et coll., 2009; Boguslaw Witkomirski et coll., 2012). Le mouvement intensif des trains et les arrêts prolongés de ceux-ci à un même endroit augmentent les risques de contamination des sols le long d'un corridor ferroviaire. Une étude réalisée dans la région de Sichuan en Chine a montré que les concentrations de zinc et le cuivre pouvaient être supérieures aux critères A du MELCC jusqu'à des distances respectives de 10 et 40 mètres de la voie (Liu et coll., 2009). En fonction des distances d'une voie ferrée, MA et coll. (2009) considèrent quatre zones de pollution, soit : zone de pollution élevée (0 à 10 m), zone de pollution moyenne (10 m à 50 m), zone de pollution légère (50 m à 100 m) et zone d'avertissement (100 m à 500 m). La zone à proximité d'une voie ferroviaire qui présente un risque de contamination est difficile à évaluer puisqu'une multitude de facteurs entrent en jeu. Afin de demeurer conservateur dans l'estimation du potentiel de contamination, seuls les lots vacants dont la limite se situe à une distance arbitraire inférieure ou égale à 25 mètres (≤ 25 m) d'une zone ferroviaire (actuelle ou ancienne) ont été jugés comme étant potentiellement contaminés (Ville de Montréal, 2019d).

2.4.4 Contrainte 4 – Indice de canopée

L'indice de canopée de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM, 2019), a été utilisé pour repérer certaines zones qui ne répondaient pas à l'objectif de l'étude. Cette carte illustre les surfaces minérales et végétales basses (< 3 m), les surfaces minérales et végétales hautes (> 3 m), ainsi que les zones aquatiques. Le seuil de 3 mètres a été établi par la CMM, puisque cette hauteur permet de prendre en compte les jeunes arbres en croissance sans exagérer la présence des arbustes (CMM, 2017). La valeur « 0 » a été attribuée aux pixels correspondant à des zones aquatiques, ainsi qu'aux surfaces minérales et végétales hautes, afin de les exclure de l'analyse. La valeur « 1 » a été attribuée aux pixels correspondant aux surfaces minérales et végétales basses, puisqu'elles étaient les seules zones d'intérêt pour répondre à l'objectif de la présente étude.

2.4.5 Facteur 1 – Proportion de couverture végétale haute

La proportion de couverture végétale haute à proximité découle d'une transformation de la couche correspondant à l'indice de canopée de la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM, 2019). La valeur de chaque pixel (1 m^2) a été remplacée par le nombre total de pixels correspondant à une couverture végétale haute observé dans un rayon de 200 mètres autour de ce dernier. Les données ont ensuite été normalisées en fonction des valeurs présentes à l'intérieur de l'aire d'étude pour que l'ensemble des valeurs de ce critère varie entre « 0 » et « 1 » (**Figure 3**).

2.4.6 Facteur 2 – Proportion de zones inondables

La proportion de zones inondables à proximité découle d'une transformation des couches correspondant aux zones identifiées par la Ville de Montréal comme étant sensibles aux inondations en cas de crue (Ville de Montréal, 2017b) et en cas de pluies abondantes (Ville de Montréal, 2017c). Les deux types de zones sensibles ont été réunis sur une même carte, puis la valeur de chaque pixel (1 m²) a été remplacée par le nombre total de pixels correspondant à une zone inondable observée dans un rayon de 200 mètres. Les données ont ensuite été normalisées en fonction des valeurs présentes à l'intérieur de l'aire d'étude pour que l'ensemble des valeurs de ce critère varie entre « 0 » et « 1 » (**Figure 3**).

2.4.7 Facteur 3 – Températures de surface moyennes

Les infrastructures végétalisées (p. ex. : parcs, jardins urbains, arbres de rue, toits verts et murs végétalisés) sont reconnues pour leur capacité à réduire l'intensité des îlots de chaleur urbain (ICU). Les effets de refroidissement sont détectables pendant le jour et la nuit lorsque l'intensité des ICU est la plus élevée (Eyquem et Feltmate, 2022). Les espaces verts urbains peuvent fournir un service de refroidissement important qui s'étend au-delà de leur délimitation, mais la portée du rafraîchissement varie exponentiellement selon la dimension des espaces végétalisés. Par exemple, Vaz Monteiro et al. (2016) ont observé que les services de refroidissement nocturne fournis par les petits espaces verts (0,5 à 5 ha) étaient en moyenne de 0,4 à 0,8 °C sur une distance de 30 à 120 mètres, et que ceux fournis par les espaces verts de taille moyenne (de 5 à 15 ha) étaient en moyenne 0,6 à 1,0 °C sur une distance de 180 à 330 mètres. Shashua-Bar et Hoffman (2000) croient cependant que la création d'un réseau de très petits espaces verts (0,1 ha), distancés d'environ 200 m serait une bonne mesure pour atténuer les effets d'îlot de chaleur en milieu urbain. Cette distance concorde bien avec le seuil de proximité établi dans la présente étude.

Les températures de surface moyennes à proximité découle d'une transformation de la couche correspondant aux températures de surface de 2012 publiée par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ, 2012). La valeur de chaque pixel (1 m²) a été remplacée par la moyenne des valeurs observées dans un rayon de 200 mètres. Les données ont ensuite été normalisées en fonction des valeurs présentes à l'intérieur de l'aire d'étude pour que l'ensemble des valeurs de ce critère varie entre « 0 » et « 1 » (**Figure 3**).

2.4.8 Facteurs 4 et 5 – Densité de population âgée de 15 ans et moins, et de 65 ans et plus

Les enfants de 0 à 15 ans, les personnes âgées de 65 ans et plus, ainsi que les personnes matériellement défavorisées sont trois groupes de la population considérés vulnérables à tous les aléas climatiques abordés dans le *Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020* (Ville de Montréal, 2017a). La densité de population (individu/m²) âgée de 15 ans et moins et de 65 ans et plus a été calculée sur la base des informations issues du plus récent recensement canadien (2016) (Gouvernement du Canada, 2016). Les deux couches vectorielles générées ont été transformées en couches raster avec une résolution de 1 m², puis les données ont été transformées pour que la valeur de chaque pixel corresponde à la moyenne des valeurs observées dans un rayon de 200 mètres. Les données ont finalement été normalisées en fonction des valeurs présentes à l'intérieur de l'aire d'étude pour que l'ensemble des valeurs de ces deux critères varient entre « 0 » et « 1 » (**Figure 3**).

2.4.9 Facteur 6 – Densité de population défavorisée matériellement et socialement

La densité de population défavorisée matériellement et socialement correspond à l'indice de défavorisation matérielle et sociale calculé par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), pondéré par la densité de population totale estimée sur la base des informations issues du plus récent recensement canadien (2016). Un indice de défavorisation matérielle et sociale intègre six indicateurs socioéconomiques issus du plus récent recensement canadien : la proportion de personnes sans diplôme d'études secondaires; le ratio emploi/population; le revenu moyen personnel; la proportion de personnes vivant seules; la proportion de

personnes veuves, séparées et divorcées; et la proportion de familles monoparentales (Pampalon et coll., 2012). Un tel indice peut être produit à différentes échelles pour décrire les inégalités sociales au sein d'un territoire précis (p. ex. : par région métropolitaine de recensement, par région sociosanitaire, par centre de santé et de services sociaux et par centre local de services communautaires) (Pampalon et coll., 2012). Dans le cadre de la présente étude, on a utilisé la version régionale sociosanitaires (RSS), calculée au moyen de la méthode pour la surveillance des inégalités sociales de santé (ISS) (INSPQ, 2016 a), ainsi que la variable à cinq niveaux « Com3RSS » de la couche vectorielle partagée par l'INSPQ (INSPQ 2016 a). Cette variable classe le territoire en quintiles, allant du moins défavorisé (Q1) au plus défavorisé (Q5). Cette couche vectorielle a été transformée en raster avec une résolution de 1 m², puis la valeur de chaque pixel a été pondérée par la densité de population totale estimée par îlot de diffusion dans le plus récent recensement canadien (2016). Cette pondération a permis de différencier les zones défavorisées qui étaient densément peuplées des zones qui accueillaient moins de personnes, tout en accordant peu d'importance aux zones favorisées. La valeur de chaque pixel (1 m²) a ensuite été remplacée par la moyenne des valeurs observées dans un rayon de 200 mètres, puis les données ont été normalisées en fonction des valeurs présentes à l'intérieur de l'aire d'étude pour que l'ensemble des valeurs de ce critère varie entre « 0 » et « 1 » (**Figure 3**).

2.5 Analyse hiérarchique des procédés

Lors d'une EMC, il est nécessaire d'examiner tous les critères d'évaluation factoriels, les uns par rapport aux autres, afin de leur attribuer une pondération relative à leur importance ou à leur préférence. Ainsi, les différents critères factoriels ont été soumis à une AHP. Cette méthode a été introduite par Saaty (1987) et est largement utilisée dans les EMC basées sur les SIG (Barzehkar, Dinan et Salemi, 2016; Gelan, 2021; Jaimes et coll., 2012). Les six critères d'évaluation factoriels ont donc été comparés en paires à l'intérieur d'une matrice de comparaison (**Tableau 6**). Chaque comparaison a été effectuée en utilisant l'échelle de préférences à neuf degrés suggérée par Saaty (1987) (**Tableau 3**). La matrice a ensuite été normalisée, en divisant la valeur propre de chaque cellule par la somme des valeurs propres présentes dans la même colonne. Le poids des différents critères a finalement été obtenu en calculant la moyenne des lignes de la matrice normalisée. Chacune de ces étapes a été réalisée dans un modèle Excel gratuit développé et proposé par Goepel (2013).

Tableau 3. Échelle d'importance à neuf degrés proposée par Saaty (1987).

DÉFINITION	DEGRÉ D'IMPORTANCE	DÉFINITION	DEGRÉ D'IMPORTANCE
D'importance égale	1	D'importance égale	1/1
Un peu plus important	3	Un peu moins important	1/3
Bien plus important	5	Bien moins important	1/5
Beaucoup plus important	7	Beaucoup moins important	1/7
Extrêmement plus important	9	Extrêmement moins important	1/9

Une valeur de 2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6 et 1/8 peut être utilisée pour exprimer un degré d'importance intermédiaire. Le tableau a été adapté de Saaty (1987)

2.6 Combinaison linéaire pondérée

La méthode de combinaison linéaire pondérée a été utilisée afin d'agrèger les différents critères d'évaluation (contraintes et facteurs) et de générer une carte composite comme règle de décision. Cette méthode est l'une des plus utilisées en EMC puisqu'elle est relativement simple et facile à mettre en œuvre (Jaimes et coll., 2012). Les critères factoriels normalisés (VH, ZI, TS, POP15, POP65 et DMS) ont été multipliés par leur poids respectif (déterminé par l'AHP), puis additionnés entre eux, avant d'être multipliés par chacune des contraintes (AE, OCSO, CONT et ICAN), afin d'obtenir le score d'adéquation (SA). La carte composite finale présente donc le SA, obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$SA = (AE * OCSO * CONT * ICAN) * ((VH * Poids) + (ZI * Poids) + (TS * Poids) + (POP15 * Poids) + (POP65 * Poids) + (DMS * Poids)) \quad (1)$$

3. Résultats

3.1 Contraintes

3.1.1 Terrains vacants

Les données numériques d'utilisation du sol de la CMM (CMM, 2016), ont été utilisées afin de recenser les terrains vacants (**Figure S1**). Les données de 2016 montrent que l'ensemble de ces terrains occupait une superficie de 8,22 km² à l'intérieur de l'aire d'étude, soit 6,87 % de sa superficie totale (**Tableau 4**). Sur la base des informations contenues sur la carte des terrains industriels vacants, publiée par le service de développement économique de la Ville de Montréal (Montréal, 2019), ainsi qu'en se basant sur des observations de terrain et sur la consultation d'images aériennes (Google Earth, 2019), un total de 5,74 km² a été ajouté à la somme des terrains vacants recensés par la CMM (données non présentées). Certains de ces espaces correspondaient à des lots entiers, alors que d'autres ne correspondaient qu'à des parties de lots.

Tableau 4. Superficies des différents types d'utilisation du sol à l'intérieur de l'aire d'étude.

TYPE D'UTILISATION	SUPERFICIE (KM ²)	PROPORTION DE L'AIRE D'ÉTUDE (%)
Résidentielle	30,90	25,83
Rue et stationnement	25,38	21,22
Industrie	18,15	15,17
Commerciale	9,34	7,81
Institutionnelle	8,40	7,02
Terrain vacant	8,22	6,87
Parc ou espace vert	6,62	5,53
Utilité publique	6,35	5,31
Golf	3,48	2,91
Zone ferroviaire	1,50	1,25
Hydrographie	0,67	0,56
Bureau	0,61	0,51
Agricole	0,01	0,01

Source : Données géoréférencées, Utilisation du sol 2016, (CMM 2016).

3.1.2 Terrains potentiellement contaminés

Au moment de la consultation, la liste des terrains contaminés disponible sur le site Internet de la Ville de Montréal (Ville de Montréal, 2019b) incluait 154 documents PDF traitant spécifiquement de terrains situés dans l'aire d'étude. Ces documents contenaient des avis de contamination, des avis de décontamination, des avis de restriction d'utilisation et des plans de réhabilitation déposés au Registre foncier entre 2004 et 2019. Les demandes d'accès à l'information ont pour leur part permis d'obtenir 46 rapports de caractérisation de sols, publiés entre 1990 et 2019. Ces derniers ne concernaient que des terrains publics. Une intersection entre l'ensemble des informations colligées (polygones des terrains vacants et polygones des terrains abordés

dans les différents documents), a permis d'identifier 350 terrains (lots, ou parties de lots cadastraux), vacants potentiellement contaminés à l'intérieur de l'aire d'étude. L'information la plus récente de 80 de ces terrains, provenait de 32 documents obtenus sur le site Internet de la Ville de Montréal, alors que l'information la plus récente des 270 autres terrains, provenait de 33 documents obtenus à la suite d'une demande d'accès à l'information. D'autres critères de sélection, comme la proximité d'une ancienne carrière ou d'un dépotoir, d'un terrain ayant un historique de contamination (connue ou suspectée), ou d'une emprise ferroviaire ont permis de recenser 333 autres terrains (lots, ou parties de lots cadastraux) vacants potentiellement contaminés à l'intérieur de l'aire d'étude.



© Louise Héneault-Ethier

Les 80 terrains, dont l'information la plus récente provenait de documents disponibles sur le site Internet de la Ville, occupaient une superficie totale de 2,96 km². Les 270 terrains, dont l'information la plus récente provenait de documents demandés, occupaient une superficie totale de 1,73 km². Puis, les 333 autres terrains occupaient une superficie totale de 3,84 km². Ainsi, l'évaluation du potentiel de contamination des espaces vacants a permis de recenser 683 terrains (lots, ou parties de lots cadastraux) vacants potentiellement contaminés, pour un total de 634 numéros de lots cadastraux différents. L'ensemble de ces espaces cumulaient une superficie de 8,52 km², soit 7,13 % de l'aire d'étude.

3.1.3 Indice de canopée

L'indice de canopée métropolitain de la CMM (CMM, 2019) a été utilisé comme troisième et dernière contrainte (**Figure S2**). Les données de 2019 suggèrent que l'aire d'étude était majoritairement représentée par des surfaces minéralisées (minérale basse : 41,71 % et minérale haute : 17,22 %), alors que les surfaces végétalisées occupaient environ 40 % du secteur (végétale basse : 25,19 % et végétale haute : 15,48 %) (**Tableau 5**). Seules les zones représentées par des surfaces végétales et minérales basses ont été conservées pour l'EMC. Ces deux zones occupaient respectivement 29,10 % et 48,34 % de la superficie totale des terrains vacants potentiellement contaminés recensés dans l'aire d'étude. Les contraintes ont donc permis d'établir un total de 6,60 km² pour l'EMC.

Tableau 5. Superficies des différentes classes de canopée.

TYPE DE MILIEU	SUPERFICIE (KM ²)	PROPORTION (%)	SUPERFICIE (KM ²)	PROPORTION (%)
Minéral bas	49,89	41,71	2,48	29,10
Minéral haut	20,60	17,22	0,03	0,35
Végétal bas	30,13	25,19	4,12	48,34
Végétal haut	18,52	15,48	1,83	21,47
Aquatique	0,48	0,40	0,06	0,70

Source : Adapté de (CMM 2019).

3.2 Facteurs

Les valeurs originales des différents jeux de données ont été transformées et normalisées afin de générer les six critères d'évaluation factoriels utilisés pour la combinaison linéaire pondérée (c.-à-d. VH, ZI, TS, Pop15, Pop65 et DMS). Les différentes couches correspondantes à chacun des six critères d'évaluation factoriels sont présentées dans la **Figure 2**.

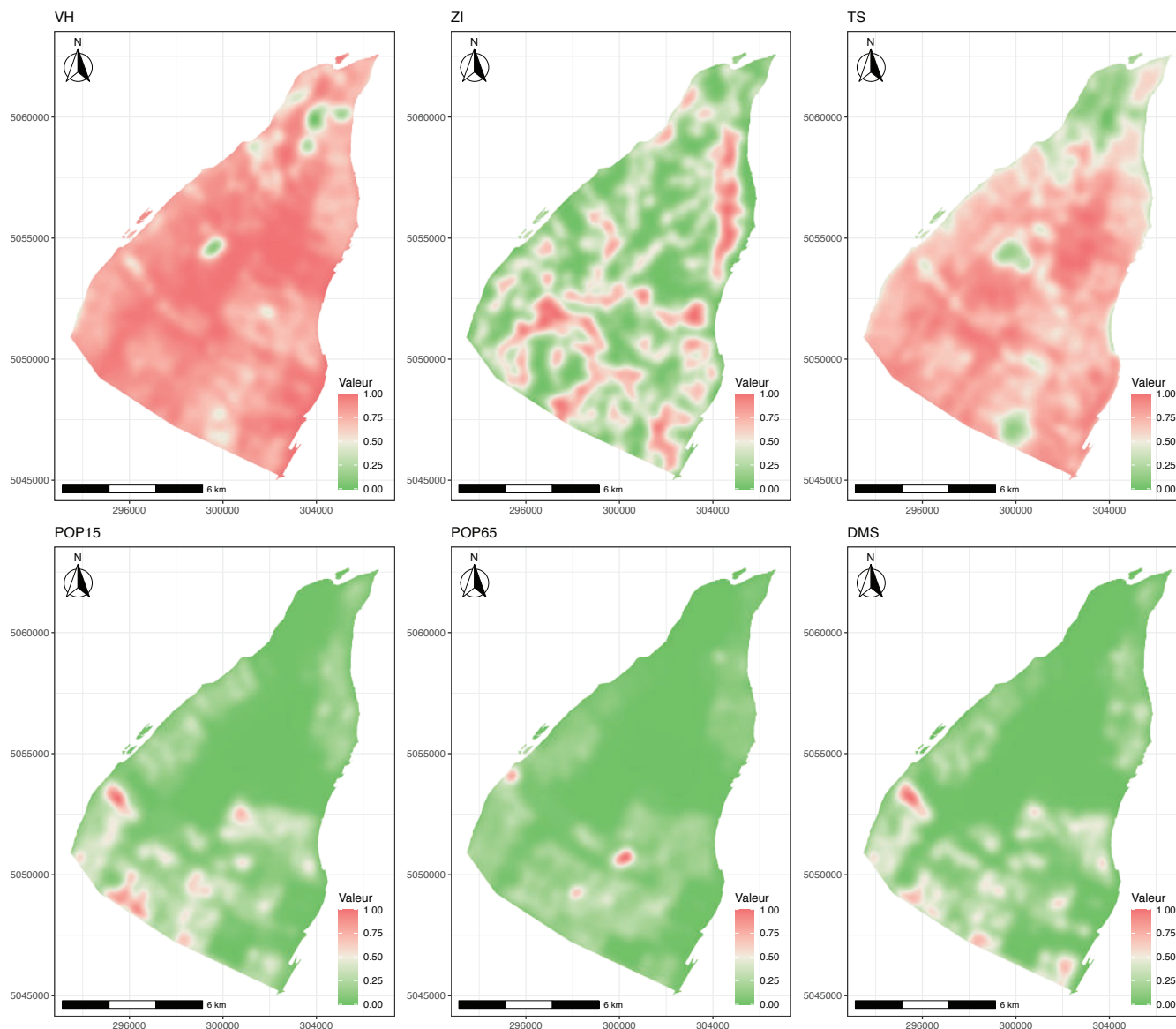


Figure 2. Critères d'évaluation factoriels utilisés pour la combinaison linéaire pondérée.

VH : Proportion de couverture végétale haute à proximité, ZI : proportion de zones inondables à proximité, TS : températures de surface moyenne à proximité, POP15 : densité de population âgée de moins de 15 ans à proximité, POP65 : densité de population âgée de plus de 65 ans à proximité, DMS : densité de population défavorisée matériellement et socialement à proximité.

3.3 Analyse hiérarchique des procédés

Le **Tableau 6** présente la matrice de comparaison en paires des six critères d'évaluation factoriels. Les valeurs propres de préférences à neuf degrés sont présentées à gauche et les valeurs normalisées sont présentées à droite. La moyenne des lignes de la matrice normalisée, permettant d'attribuer un poids relatif à l'importance de chaque critère, est également présentée à l'extrémité droite du tableau. Le rapport de cohérence calculé n'a décelé aucune incohérence entre les poids de la matrice.

Tableau 6. Matrice de comparaison par paires.

FACTEUR	VALEUR PROPRE						VALEUR NORMALISÉE						POIDS (%)
	VH	ZI	TS	Pop15	Pop65	DMS	VH	ZI	TS	Pop15	Pop65	DMS	
VH	1	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	0,071	0,125	0,125	0,045	0,045	0,045	7,63
ZI	2	1	1	2	2	2	0,143	0,250	0,250	0,273	0,273	0,273	24,35
TS	2	1	1	2	2	2	0,143	0,250	0,250	0,273	0,273	0,273	24,35
Pop15	3	1/2	1/2	1	1	1	0,214	0,125	0,125	0,136	0,136	0,136	14,56
Pop65	3	1/2	1/2	1	1	1	0,214	0,125	0,125	0,136	0,136	0,136	14,56
DMS	3	1/2	1/2	1	1	1	0,214	0,125	0,125	0,136	0,136	0,136	14,56

Le rapport de cohérence estimé par le logiciel de Goepel (2013) était de 3,3 %. VH : Proportion de couverture végétale haute à proximité, ZI : proportion de zones inondables à proximité, TS : températures de surface moyenne à proximité, POP15 : densité de population âgée de moins de 15 ans à proximité, POP65 : densité de population âgée de plus de 65 ans à proximité, DMS : densité de population défavorisée matériellement et socialement à proximité.

3.4 Priorités de verdissement des terrains identifiés

La carte composite finale (**Figure 3**) élaborée par combinaison linéaire pondérée a permis de hiérarchiser les espaces vacants potentiellement contaminés en fonction de leur priorité de verdissement pour augmenter la résilience aux changements climatiques à l'intérieur de l'aire d'étude. Les valeurs du score d'adéquation oscillaient entre 7,99 et 56,49 (**Figure S3**). Celles-ci ont été divisées en quintiles afin de générer cinq classes de priorisation de verdissement : non prioritaire (Q1), peu prioritaire (Q2), moyennement prioritaire (Q3), prioritaire (Q4) et hautement prioritaire (Q5).

3.4.1 Type de propriétaire par priorité de verdissement

La consultation du cadastre du Québec, en date du 7 novembre 2019, a permis de recenser les 158 propriétaires (94 personnes morales et 64 personnes physiques) qui se partagent les 634 lots cadastraux concernés par la présente étude. Certains propriétaires ne possédaient qu'un seul lot, alors que d'autres en possédaient plusieurs. Certains lots avaient un seul propriétaire, alors que d'autres en avaient plusieurs. Deux personnes physiques ayant le même nom et prénom pourraient avoir été identifiés comme étant la même personne.

Le Registre des entreprises du Québec (MTESS, 2020) a été consulté afin de déterminer le code d'activité économique (MTESS, 2017) de chaque personne morale concernée par l'étude. Les propriétaires ont été groupés par secteur d'activité économique (SAE). Le **Tableau 7** présente la superficie cumulée des différents groupes de propriétaires par classes de priorisation de verdissement. Les résultats montrent qu'un peu plus de 2 km², soit 30,45 % des espaces identifiés, appartenaient aux administrations municipales et provinciales. Un total de 121 172 m² appartenait à des propriétaires dont le secteur d'activité économique n'a pas pu être établi.

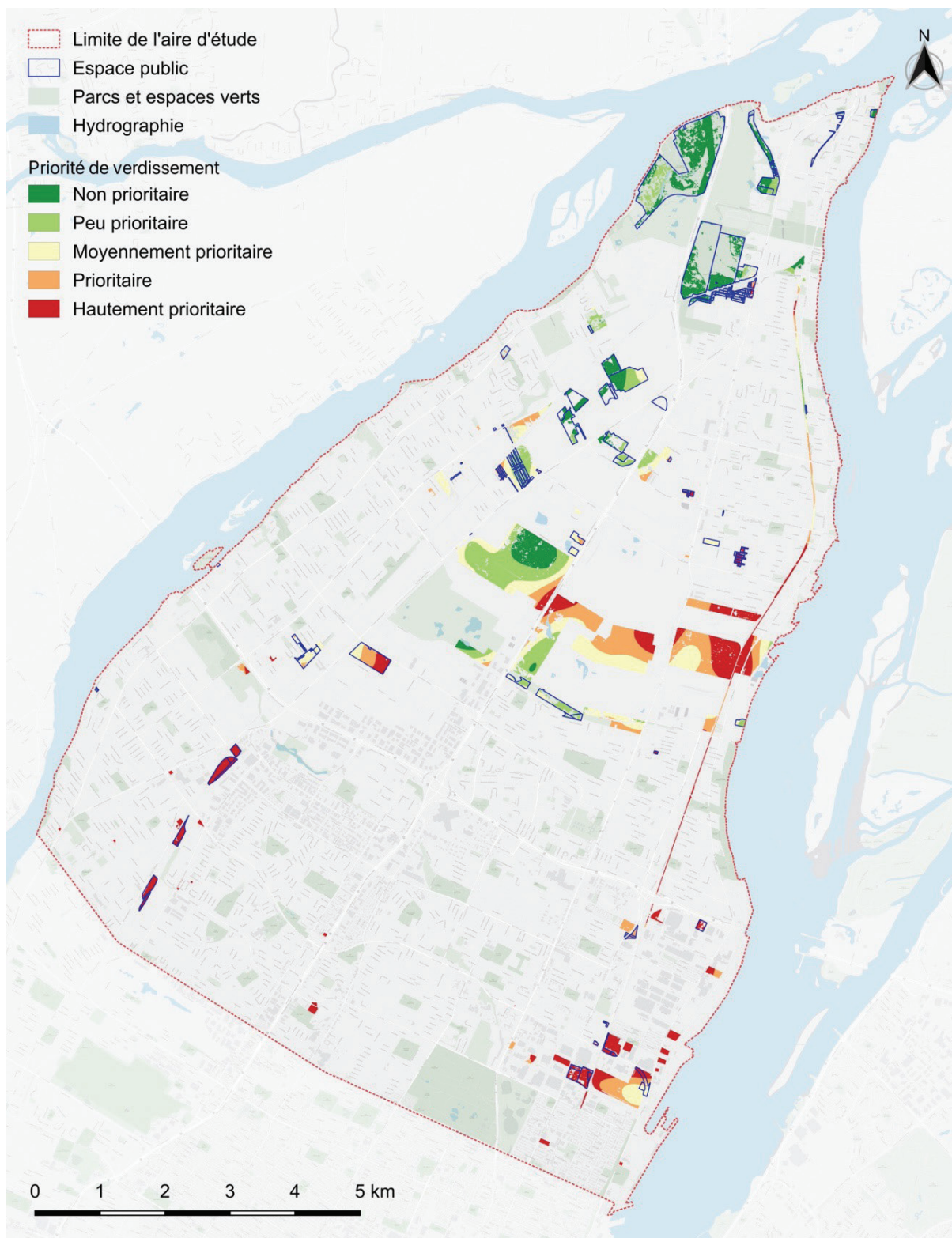


Figure 3. Carte composite présentant les cinq classes de priorité de verdissement.

Sources : Limites terrestres de l'île de Montréal, Ville de Montréal, 2019; Données cadastrales du Québec, MERN, 2019; Grands parcs, parcs d'arrondissements et espaces publics, Ville de Montréal, 2022; Réseau hydrographique national, Ville de Montréal, 2021; Gray Light Canvas, Esri Canada. Cartographie : Maxime Fortin Faubert. Projection : NAD83 (CSRS)/MTM zone 8.

Tableau 7. Superficies des différentes classes de priorisation par groupe de propriétaires.

SAE	SUPERFICIE (M ²)					
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Totale
*Administrations municipales	978 385	346 203	188 050	112 676	249 322	1 874 637
*Industries pétrolières	10 349	166 488	335 048	450 987	271 394	1 234 266
Industries des produits raffinés du pétrole	273 975	141 468	200 946	257 049	259 751	1 133 188
Autres industries de produits en matière plastique	33	411 116	175 034	52 119	35 889	674 190
Sociétés de placement de portefeuille	1 115	41 180	136 207	164 813	96 237	439 552
Exploitants de bâtiments et de logements	334	9 184	19 413	65 517	116 166	210 614
*Administrations provinciales	0	9 946	10 962	18 150	93 050	132 107
*Inconnue	22	2 074	15 332	66 490	37 254	121 172
Autres transports	1 775	7 060	13 535	24 936	64 329	111 635
Clubs sportifs et services de loisirs	22 685	38 965	26 766	5 393	0	93 809
Agences d'assurances et agences immobilières	16 643	9 326	18 411	14 724	26 210	85 313
Promotion et construction de bâtiments résidentiels	0	48 743	23 488	4 407	0	76 639
Transports et services ferroviaires	1 415	10 481	14 963	19 512	22 875	69 246
Industrie du ciment	0	7 025	55 629	3 453	0	66 107
*Personne physique	3 461	23 918	12 202	7 981	176	47 737
Commerce de gros de produits pétroliers	0	0	6 869	29 974	3 335	40 178
Autres services relatifs aux transports	0	0	33 296	0	0	33 296
*Hydro-Québec	0	13 996	517	2 621	2 114	19 249
Autres services relatifs à la construction	240	15 842	5	54	2 082	18 222
Commerce de gros de boissons	0	0	0	0	15 208	15 208
Industries de l'impression commerciale	0	0	13 478	0	0	13 478
Associations et organismes des domaines de la santé et des Services sociaux	0	0	0	0	9 462	9 462
Autres industries de produits alimentaires	0	0	0	2 202	6 651	8 852
Industries du verre et des articles en verre	0	0	5 950	1 952	0	7 901
Services de location d'automobiles et de camions	7 409	229	0	0	0	7 638
Gestion des services économiques	0	0	0	7 448	0	7 448
Travaux sur chantier	0	0	7 341	0	0	7 341
Commerce de gros de produits alimentaires	858	6 066	0	0	0	6 925
Caisses d'épargne et de crédit	0	5 659	0	0	0	5 659
Autres travaux spécialisés	0	0	4 517	28	0	4 545
Autres intermédiaires d'investissement	0	0	0	3 629	0	3 629
Autres services publics	0	0	0	0	3 424	3 424
Industries des pâtes et papiers	0	2 540	0	0	0	2 540
Sociétés de prêts hypothécaires	0	0	0	1 493	98	1 591
Autres services	0	1 509	0	0	0	1 509
Stations-service	0	0	0	0	1 066	1 066
Organisations religieuses	5	0	0	252	0	258
Télégraphie et téléphonie	110	0	0	0	0	110
Autres exploitants immobiliers	0	0	0	110	0	110

SAE : Secteur d'activité économique, Q1 : non prioritaire, Q2 : peu prioritaire, Q3 : moyennement prioritaire, Q4 : prioritaire et Q5 : hautement prioritaire. L'astérisque (*) indique que les propriétaires du groupe n'ont pas été classés en fonction du code d'activité économique.

4. Discussion

4.1 Impacts des contraintes

Comme le définit la section Méthodologie (**Tableau 1**), quatre contraintes ont été utilisées afin de délimiter les zones appropriées pour l'évaluation multicritère, soit l'aire d'étude, les terrains vacants, le potentiel de contamination et l'indice de canopée. L'exclusion de certaines zones associées à ces contraintes pourrait avoir influencé les résultats de la présente étude. Dans les sections qui suivent, l'impact de l'inclusion ou de l'exclusion de ces zones est discuté et mis en contexte avec la littérature pertinente.

4.1.1 Identification des terrains vacants

Les données numériques d'utilisation du sol de 2016 suggèrent que les terrains vacants occupaient 6,87 % de la superficie totale de l'aire d'étude, soit 8,22 km². Cette proportion est supérieure à celle observée pour les parcs ou espaces verts (5,53 %). Au moment de réaliser l'EMC, seules les données de 2012, 2014 et 2016 étaient disponibles. Des mises à jour ont par la suite été réalisées en 2020 pour diffuser les données de 2018 et de 2020. Ces données montrent que les terrains vacants occupaient l'équivalent de 7,33, 6,20, 5,09, 5,09 et 4,86 % de la superficie totale de l'île de Montréal en 2012, 2014, 2016, 2018 et 2020, respectivement, ce qui suggère que ces espaces inoccupés sont à la baisse dans l'agglomération de Montréal. Ces mêmes données suggèrent également que les espaces occupés par les parcs ou espaces verts sont à la hausse (7,20 % en 2012, 7,09 % en 2014, 8,24 % en 2016, 8,29 % en 2018 et 8,68 % en 2020).

Dans les années 2000s, une enquête réalisée sur 70 villes américaines de 100 000 habitants et plus, a révélé que les terrains vacants et les structures abandonnées représentaient en moyenne 15 % du territoire (A. Pagano et O'M. Bowman, 2000). Cette proportion est un peu plus de deux fois supérieure à celle estimée par la CMM sur l'île de Montréal ainsi qu'à l'intérieur de l'aire d'étude en 2016 (6,87 %). La comparaison temporelle et spatiale des terrains vacants représente une tâche complexe, puisqu'il n'existe aucune définition formelle pour décrire ces espaces et que les méthodes d'identification varient d'une étude à l'autre (A. Pagano et O'M. Bowman, 2000).

Dans la littérature, les « *terrains vacants* » font souvent référence à des lots ou parties de lots inutilisés ou sous-utilisés, notamment des terres non cultivées, des terrains vagues récemment rasés ou des friches industrielles (A. Pagano et O'M. Bowman, 2000). Toutefois, les terrains avec bâtiments ou structures abandonnés, tout comme les stationnements peuvent également être considérés comme des terrains vacants (Montréal, 2019). Les terrains vacants sont généralement inventoriés à l'aide d'analyses simples qui combinent des données municipales de zonage et d'occupation des sols à des interprétations visuelles de l'occupation réelle du site (Balmer et coll., 2005; Kaethler, 2006; McClintock, Cooper et Khandeshi, 2013). Puisque la CMM répertorie les espaces vacants en fonction de l'usage principal des lots du Québec, comme l'indique le dernier rôle foncier, il est possible que certains espaces n'apparaissent pas vacants si l'usage n'est pas spécifié au rôle foncier, ou s'il ne concerne qu'une partie du lot auquel il appartient. À titre d'exemple, certains lots publics utilisés pour le réseau routier (routes, rues ou ruelles) possèdent des espaces qui pourraient être considérés comme des terrains vacants (**Figure 4**). Dans la présente étude, certains terrains vacants ont été déterminés par évaluations visuelles. Toutefois, cette méthode n'étant pas exhaustive, on ne doit pas négliger cette étape à l'avenir pour bien définir l'ensemble des espaces vacants sur un territoire donné, même s'il s'agit d'une étape subjective et chronophage.

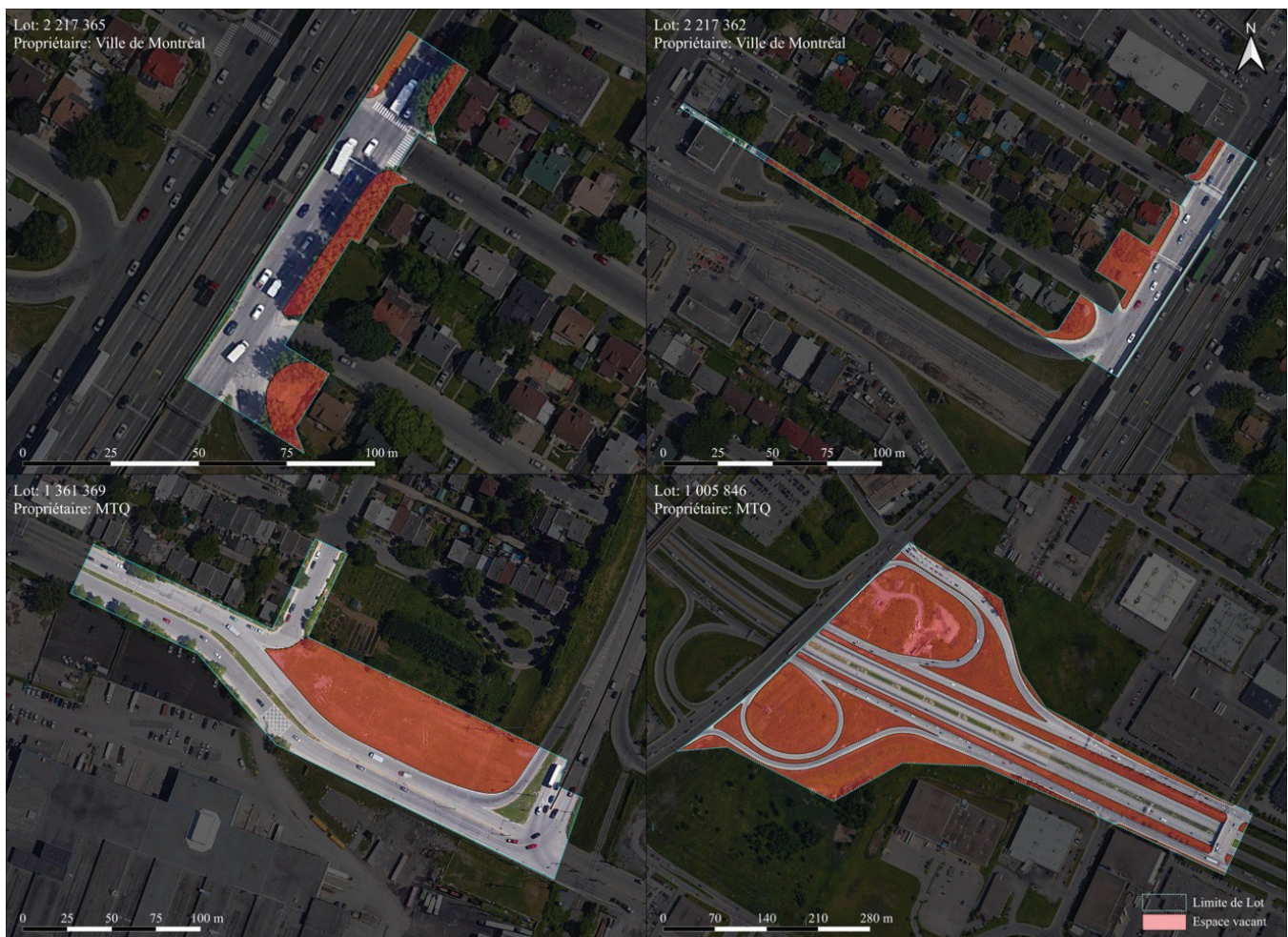


Figure 4. Exemples d'espaces vacants sur des lots publics à usage routier. On remarque que certains lots ont une très faible proportion d'espace vacant (zonage résidentiel, en haut à droite), tandis qu'elle peut être très importante le long des voies d'accès ou des échangeurs autoroutiers (zonage industriel, en bas à droite).

Sources : Données cadastrales du Québec de 2019; Google Earth, 2019. Cartographie : Maxime Fortin Faubert. Projection NAD83 (CSRS)/MTM zone 8. MTQ : Ministère des Transports du Québec.

4.1.2 Contamination – Accès à l'information et qualité des données

Il est impératif de comprendre que les terrains identifiés à l'intérieur de l'aire d'étude ne représentent pas un inventaire exhaustif de l'ensemble des terrains contaminés vacants situés dans l'est de l'île de Montréal. Les informations nécessaires à la création d'un tel inventaire seraient tout simplement impossibles à colliger dans le contexte législatif actuel. Au Québec, il existe certaines dispositions législatives et réglementaires qui obligent et encadrent la divulgation de l'information concernant l'état de contamination d'un terrain (Beaulieu, 2016). Toutefois, ces obligations ne sont applicables qu'en fonction de certains éléments déclencheurs et situations (Beaulieu, 2016), faisant en sorte que certaines personnes ne sont pas dans l'obligation légale de diffuser l'information qui concerne l'état de contamination d'un terrain. Cependant, si le détenteur de l'information est une personne morale publique, celle-ci devrait être dans l'obligation légale de fournir les documents qu'elle détient si une demande d'accès à l'information lui est formellement adressée. Les situations obligeant la diffusion de l'information sont présentées dans le Guide d'intervention - *Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés* (Beaulieu et coll., 2021).

Il existe un éventail varié de listes et d'inventaires des terrains contaminés situés au Québec, qui sont tenus à jour par le Conseil du Trésor du Canada, le MELCC, le MERN et les municipalités (Beaulieu et coll. 2021). Le public peut donc consulter ces différentes bases de données, mais il ne peut accéder qu'à un nombre limité de renseignements. Le répertoire des terrains contaminés du MELCC permet aux utilisateurs de localiser certains terrains, puisque chaque inscription présente une adresse et des coordonnées géographiques. Les données peuvent être visualisées sur une carte interactive (MELCC, 2019a) ou téléchargées en format SIG sur Données Québec (MELCC, 2019b).

Il n'est pas possible de savoir si le point localisé sur la carte concerne une partie de lot, un seul lot ou un ensemble de lots. De plus, la nature des contaminants et l'état de la réhabilitation ne sont présentés que très sommairement, puisque certains renseignements sont susceptibles d'être protégés en vertu de la *Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels* (MELCC, 2019b). Il n'est donc pas possible de savoir quels contaminants sont présents, et encore moins de savoir à quelle concentration et à quelle profondeur ils ont été trouvés. En plus du caractère général des renseignements fournis, les terrains présentant des niveaux de contamination inférieurs au critère B ne sont généralement pas intégrés dans le répertoire des terrains contaminés du MELCC (MELCC, 2017).

En vertu de l'article 31.68 de la LQE (Gouvernement du Québec, 2021), toutes les municipalités québécoises doivent tenir une liste à jour des terrains contaminés dont un avis est inscrit au Registre foncier. Sur la base de ces avis, la Ville de Montréal tient à jour une liste de ses terrains contaminés, qu'on peut télécharger sur le Portail des données ouvertes de Montréal (Ville de Montréal, 2019b) ou sur Données Québec (Ville de Montréal, 2019b). Puisque ces données ne sont pas encore fournies en format cartographique numérique, il n'est pas possible de localiser les sites aussi rapidement que ceux figurant dans le répertoire des terrains contaminés du MELCC. Cependant, la Ville publie, sur son site Internet (Ville de Montréal, 2019c), des versions numérisées (PDF) des différents avis inscrits au Registre foncier, ce qui permet de localiser l'emplacement exact et de délimiter les lots et parties de lots concernés. Les informations incluses dans ces avis fournissent davantage de renseignements sur la nature des contaminants, mais les études de caractérisation des sols et des eaux souterraines demeurent inaccessibles.

En vertu de la *Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels*, il aurait été possible de présenter des demandes d'accès à l'information aux différents organismes publics pour obtenir des renseignements supplémentaires concernant un des terrains répertoriés. Toutefois, le nombre de terrains était beaucoup trop important pour qu'une telle démarche soit efficace. Nous avons donc décidé de formuler des demandes à la Ville concernant uniquement des lots vacants qui ne figuraient dans aucune base de données ouverte. Les résultats montrent que cette étape a permis d'identifier 270 lots ou partie de lots vacants à l'intérieur de l'aire d'étude, soit 3,4 fois plus qu'en consultant les avis inscrits au Registre foncier. Ce ratio aurait sans doute été plus élevé si la Ville avait également publié des documents concernant des terrains privés. Ces observations démontrent qu'un nombre élevé de terrains contaminés ne figurent dans aucune base de données ouverte. L'information utilisée pour identifier un peu plus de la moitié (56,46%) de la superficie occupée par ces lots vacants publics provenait de documents rédigés entre 1990 et 2002. La date de ces documents ne permet pas de savoir si les renseignements sont toujours valides aujourd'hui.

4.1.3 Contamination – Recommandations

Par l'intermédiaire des différentes bases de données ouvertes, le public a donc accès à des renseignements vagues et ponctuels qui ne concernent qu'une partie des cas portés à l'attention des autorités. Il est important de se rappeler que les valeurs limites réglementaires de chaque contaminant varient en fonction de l'usage du terrain récepteur, ce qui signifie que les sites dits «réhabilités» ou «décontaminés» ne sont pas nécessairement exempts de contaminants. Un terrain à usage industriel «réhabilité» pourrait donc redevenir «contaminé» si son usage devenait commercial ou résidentiel. Il est donc difficile pour le public de savoir si un terrain contient encore des contaminants sans connaître son usage. Pour cette raison, tous les sites présentant une contamination supérieure au critère A ont été considérés potentiellement contaminés.

L'utilisation actuelle des sols est principalement fondée sur la propriété foncière. Le mot «sol» est souvent utilisé pour désigner une surface inerte plutôt qu'une matière dynamique dans un volume (Donadieu, Rémy et Girard, 2016). Le sol est une ressource naturelle vivante non renouvelable (pendant des décennies) qui, selon plusieurs, devrait être considérée comme une ressource collective qu'il faut protéger au même titre que l'eau (Cantin Cumyn, 2011; Donadieu, Rémy et Girard, 2016). L'état de contamination des sols devrait donc être connu publiquement. Un accès complet aux études de caractérisation de sol permettrait non seulement au public d'être mieux informé, mais aussi aux municipalités de brosser un meilleur portrait de leur territoire et d'intégrer l'ensemble des terrains contaminés dans leur planification territoriale. Pour que l'information soit plus accessible, le MELCC devrait travailler de concert avec les villes afin de centraliser l'information dans une seule base de données ouverte qui collige tous les cas de contamination rapportés dans la province. De plus, pour une meilleure transparence, toute étude de caractérisation de sol attestée par un expert visé par l'article 31.65 de la LQE devrait être portée à l'attention du MELCC et diffusée à tous par le biais de cette base de données ouverte.



© Louise Héneault-Ethier

Plus de détails sur la nature du sol et des contaminants présents sur les terrains vacants permettraient certainement d'améliorer un outil d'aide à la décision comme celui décrit dans la présente étude, en répondant à des objectifs qui vont au-delà du simple verdissement. Certaines plantes utilisées en phytoremédiation ont en effet la capacité de dégrader ou de retirer divers contaminants du sol (Antoniadis et coll., 2021; Fortin Faubert, Hijri et Labrecque, 2021; Gerhardt, Gerwing et Greenberg, 2017; Roy et Pandey, 2020). Toutefois, cette approche ne s'applique qu'à un nombre restreint de sites contaminés qui répondent à des conditions environnantes bien spécifiques. Outre l'utilisation des végétaux pour éliminer complètement les contaminants du sol, certaines plantes peuvent être utilisées comme couvert végétal évapotranspirant dans le but de minimiser les risques de migration des contaminants dans l'environnement (Ferro et coll., 2003; Fortin Faubert et coll., 2021). La nature et le degré de la contamination (c.-à-d. contaminants, concentration et profondeur), comme plusieurs autres caractéristiques climatiques et édaphiques, sont des paramètres essentiels à la conception d'un outil d'aide à la décision pour des projets de phytoremédiation (Lapointe-Rioux, 2015; Onwubuya et coll., 2009; Robinson et coll., 2003).

4.1.4 Potentiel de contamination

En plus des cas qui n'ont jamais été portés à l'attention du MELCC et des villes (par l'intermédiaire du MERN), certains cas mettant en cause les sols et les eaux souterraines n'ont jamais été soumis à une étude de caractérisation. Ainsi, en raison de l'accessibilité restreinte à l'information, la nature des contaminants n'a pas été intégrée comme paramètre pour l'EMC. La priorisation de verdissement a donc été évaluée de la même façon sur l'ensemble des sites présentant un quelconque risque de contamination. Il serait intéressant de se pencher sur les possibles corrélations entre les niveaux de contamination des sols et les codes d'utilisation des biens-fonds. En plus des sous-critères utilisés pour évaluer le potentiel de contamination des terrains vacants identifiés, l'historique des codes d'utilisation des biens-fonds pourrait être pris en compte pour déterminer le risque de contamination des terrains vacants qui ne figurent dans aucune base de données ouverte.

La Ville de Montréal diffuse depuis 2016 des informations concernant 94 anciennes carrières et 12 dépotoirs de son territoire (Ville de Montréal, 2019a). Les informations colligées proviennent principalement d'une compilation de documents historiques, qui ont permis de localiser certains sites potentiellement contaminés. Vers la fin du 19^e siècle, de nombreuses carrières montréalaises ont été exploitées afin de fournir des matériaux pour la construction de maisons et d'édifices (DRSP, 2016). Après leur exploitation, certaines de ces carrières ont servi de dépotoirs avant d'être refermées. Certains lieux ont été convertis en parc, alors que d'autres ont été oubliés sous les pieds des Montréalais et se trouvent aujourd'hui aux limites, voire même, en dessous d'immeubles et de maisons. Bien que plusieurs de ces sites présentent des risques élevés de contamination, les terrains qui se trouvent dans l'emprise d'une ancienne carrière ne sont pas systématiquement contaminés. De plus, il n'existe aucune garantie quant à l'exactitude des données, les limites ayant été définies de façon approximative par la Ville. Des demandes d'accès à l'information peuvent être adressées à la Ville, mais il est possible qu'aucune étude de caractérisation n'ait été réalisée sur les lots visés par la demande. Des propriétaires d'immeubles et de maisons ont longtemps ignoré que leur propriété pouvait être située aux limites, voire même, au-dessus d'un de ces dépotoirs. La découverte de contaminants sur une propriété peut être catastrophique puisqu'elle peut faire chuter considérablement la valeur de revente de celle-ci, et les institutions financières n'accordent généralement pas de prêt pour l'achat d'un terrain contaminé (Yates, 2015).

Bien que différentes bases de données soient accessibles au public, leur consultation peut être laborieuse pour ceux et celles qui ne maîtrisent pas les SIG. Certains outils payants sont ainsi offerts afin de consulter rapidement les différentes banques de données publiques et de créer un rapport de vérification indiquant le risque de contamination d'un seul terrain à la fois (ImmoProof, 2018). En raison de la migration des contaminants, l'outil d'ImmoProof couvre un rayon de 150 mètres autour de la propriété visée pour évaluer le risque de contamination. Cette distance est largement supérieure à celles utilisées dans la présente étude pour évaluer le potentiel de contamination des lots vacants à proximité d'un terrain ayant un historique de contamination (≤ 10 m), d'une zone ferroviaire (≤ 25 m) ou d'une ancienne carrière et dépotoir (≤ 50 m).

4.1.5 Indice de canopée

Les surfaces minérales hautes, la couverture végétale haute et les surfaces aquatiques ont été exclues de l'analyse puisqu'elles ne présentaient aucun potentiel pour répondre à l'objectif de verdissement de la présente étude. Ensemble, ces trois zones occupaient 22,52 % de la superficie totale des terrains vacants potentiellement contaminés recensés dans l'aire d'étude (**Tableau 5**). Bien que les surfaces aquatiques et les zones de couverture végétale haute ne puissent pas répondre à notre objectif, ces espaces pourraient néanmoins être intégrés dans une EMC qui vise des objectifs de conservation. Certains terrains recensés dans l'aire d'étude accueillent des milieux humides (Ville de Montréal, 2020c) et certains font partie de la liste des milieux naturels intérieurs protégés ou en voie de protection de l'agglomération de Montréal (Ville de Montréal, 2020d). Les surfaces minérales hautes pourraient également être intégrées dans une EMC qui se penche sur le potentiel de verdissement de certaines toitures.

Les surfaces minérales basses présentent donc un certain potentiel de verdissement, bien que les efforts de transformation risquent d'être influencés par le type de surface (p. ex. : béton, asphalte, gravier et terre battue), alors que les zones de végétation basse présentent un potentiel de verdissement plus simple qui vise essentiellement à bonifier et à complexifier la végétation déjà présente en ajoutant une strate arbustive (Francoeur et coll., 2019).

4.2 Impacts des facteurs

Au-delà des contraintes qui motivent l'inclusion et l'exclusion des zones pour l'EMC, il fallait tenir compte des facteurs qui modulent la priorité de verdissement en fonction de l'importance (proportion de la superficie occupée) et de la proximité (dans un rayon de 200 m). L'impact des choix de priorisation des six facteurs utilisés est discuté dans les sections suivantes.

4.2.1 Couverture végétale haute, zones inondables et température de surface moyenne

L'indice de canopée métropolitain de la CMM (CMM, 2019), ainsi que les zones sensibles aux inondations en cas de crue et en cas de pluies abondantes (Ville de Montréal, 2017c, 2017b), ont été utilisés pour la création des deux premiers critères d'évaluation factorielle (VH et ZI). Certains auteurs utilisent l'inverse de la distance comme critère d'évaluation (Maure et coll., 2018; Rayfield et coll., 2015). Toutefois, dans le cadre du présent guide, on a choisi de transformer les deux couches de sorte que la valeur de chaque pixel (1 m²) soit représentative du nombre total de pixels, correspondant à une zone d'intérêt (c.-à-d., couverture végétale haute ou zone inondable) dans un rayon de 200 mètres. Cette opération visait à tenir compte de l'ensemble des éléments à proximité, et non seulement de la distance entre deux points (pixels). De cette façon, deux pixels situés à des distances similaires d'une zone d'intérêt (c.-à-d., couverture végétale haute ou zone inondable) n'auront pas nécessairement la même importance.

Cette même logique a été appliquée pour la création du troisième critère d'évaluation factoriel, soit les températures de surface moyennes à proximité (TS). Dans ce cas-ci toutefois, c'est la valeur moyenne de tous les pixels situés dans un rayon de 200 mètres qu'on a utilisé pour remplacer la valeur de chaque pixel (1 m²). L'inverse de la distance est parfois utilisé pour créer des critères d'évaluation liés aux températures de surface (Maure et coll., 2018; Rayfield et coll., 2015). Cependant, avant de calculer les distances, on doit classer l'ensemble des valeurs en différents niveaux pour déterminer le seuil correspondant aux zones d'intérêt (p. ex. : îlot de chaleur).

4.2.2 Population vulnérable

Au Canada, le Recensement de la population est prescrit par la Loi constitutionnelle (1867) et la Loi sur la statistique (1985) (Gouvernement du Canada, 2021). Ainsi, tous les cinq ans, le gouvernement fédéral fait l'acquisition de données spatiales démographiques en demandant à sa population de répondre à un questionnaire détaillé (25 % des ménages) ou à un questionnaire abrégé (tous les autres ménages). Dans la présente étude, ce sont les données du recensement de 2016 qui ont été utilisées pour calculer la densité de population âgée de moins de 15 ans, ainsi que la densité de population âgée de plus de 65 ans. L'indice de défavorisation matérielle et sociale communiqué par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ, 2016 b) et utilisé dans notre étude a aussi été calculé à partir des données du recensement de 2016. L'utilisation de données plus récentes permettra d'augmenter la validité des résultats.

4.3 Pondération des critères factoriels

L'évaluation multicritère suppose que plus le poids d'un critère d'évaluation factoriel est élevé, plus il aura d'influence sur la détermination des priorités de verdissement à l'intérieur de l'aire d'étude. Les résultats de l'analyse hiérarchique des procédés montrent que les différents critères d'évaluation ont été utilisés avec des degrés d'influence différents. Par conséquent, une zone à forte proportion de zones inondables à proximité, ou dont les températures de surface moyennes à proximité étaient très élevées, présentait la priorité de verdissement la plus élevée, puisque le poids normalisé de chacun de ces facteurs était de 24,35 % (**Tableau 6**). La densité de population âgée de moins de 15 ans à proximité d'une zone, tout comme la densité de population âgée de plus de 65 ans à proximité, ainsi que la densité de population défavorisée matériellement et socialement à proximité, présentaient une priorité de verdissement légèrement plus faible avec des poids

normalisés de 14,56 %. La proportion de couverture végétale haute à proximité d'une zone, présentait pour sa part, la priorité la plus faible des six critères, avec un poids normalisé de 7,63 %.

L'analyse hiérarchique des procédés est considérée comme une méthode très efficace pour déterminer la pondération de différents critères d'évaluation, car elle permet de calculer l'incohérence de la matrice de comparaison par paires (R. W. Saaty, 1987; T. L. Saaty, 2005). Ici, le rapport de cohérence estimé par le logiciel de Goepel (2013) était de 0,033, ce qui est largement acceptable pour la poursuite de l'analyse (R. W. Saaty, 1987). Dans le cadre de cette première phase exploratoire, une seule analyse hiérarchique des procédés a été réalisée par l'auteur. La sélection des sous-critères, l'attribution des notes de priorisation et les distances arbitraires (c.-à-d. 10 m, 25 m, 50 m et 200 m) ont été définies en fonction de l'information extraite de la littérature scientifique et de la littérature grise. Afin de consolider les choix personnels de l'auteur et de réduire au mieux la subjectivité, il sera nécessaire de consulter différents experts et professionnels locaux au cours des prochaines phases du projet pour mieux sélectionner les paramètres et classer adéquatement les différents critères d'évaluation sur une échelle de Saaty. Des analyses de sensibilité devraient également être réalisées afin de remettre en perspective l'impact des distances arbitraires de proximité (p. ex. : 300 m vs 200 m, ou 50 m vs 25 m), ainsi que celui des différents critères d'évaluation et de leur pondération respective.

4.4 Potentiel de bonification méthodologique

La méthodologie utilisée dans la présente étude a permis de hiérarchiser les espaces vacants potentiellement contaminés en fonction de leur priorité de verdissement pour augmenter la résilience aux changements climatiques. Cette priorisation demeure cependant préliminaire et pourrait ultérieurement être raffinée en incluant certains éléments importants, de nature physique, réglementaire, sociale et économique, qui pourraient freiner ou limiter l'opérationnalisation des travaux de verdissement en milieu urbain. Certains éléments étant moins faciles à quantifier que les paramètres utilisés dans la présente étude, ils devront d'abord faire l'objet d'une appréciation qualitative guidée par des entretiens dirigés en partie avec le concours d'experts et de professionnels locaux. Ces éléments



© Louise Héneault-Ethier

pourraient englober, notamment, l'inclinaison de la pente, l'accessibilité du site, les coûts d'exploitation, les projets de développement à venir ou la proximité de lignes à haute tension.

Certains éléments pourraient servir de critères pour évaluer le potentiel de transformation des espaces identifiés, alors que d'autres pourraient permettre de définir le type de verdissement le plus approprié. Certaines zones privées pourraient être plus propices au verdissement temporaire (p. ex. : jardins, phytoremédiation ou phytogestion), alors que certains terrains publics pourraient l'être davantage au verdissement permanent (p. ex. : plantation d'arbres, parcs, jardins, terrains de jeux ou espaces naturels). L'inclinaison de la pente est souvent intégrée dans des EMC visant l'aménagement du territoire (Abebe et Megento, 2017; Dağıstanlı, Turan et Dengiz, 2018; Mahdavi et Niknejad, 2014; Piran et coll., 2013; Pramanik, 2016). Certains considèrent que des pentes de 0-5 %, 5-10 %, 10-15 % et 15-20 % sont hautement souhaitables, souhaitables, modérément souhaitables et non souhaitables pour le développement d'espaces verts urbain (Gelan, 2021). Bien que les pentes de plus de 20 % puissent être considérées comme étant non souhaitables pour le développement

d'espaces verts fréquentés par les citoyens, ces espaces plus difficiles à végétaliser pourraient tout de même être souhaitables pour du verdissement permanent autre que des parcs. En effet, même si la plantation de végétaux sur des pentes abruptes peut nécessiter des techniques de mise en place plus complexes, cette stratégie peut s'avérer avantageuse pour stabiliser les sols, particulièrement dans les zones sujettes à un fort ruissellement ou à l'érosion ou ayant des milieux récepteurs sensibles en aval, comme des plans d'eau (Desjardins, 2019).

4.5 Potentiel de verdissement des terrains vacants identifiés

Le type de propriétaire des terrains concernés pourrait également être ajouté comme critère pour évaluer le potentiel de transformation, ou pour déterminer le type de verdissement le plus approprié. Certains propriétaires privés pourraient envisager des projets de développement immobilier et ainsi s'opposer à des travaux de verdissement sur leur propriété.

Les résultats obtenus montrent que 1,87 km², soit 28,45% des espaces recensés appartenaient aux administrations municipales (c.-à-d. Ville d'Anjou, Ville de Montréal, Ville de Montréal-Est, Ville de Montréal-Nord et Ville de Saint-Léonard). Ce constat n'est pas étonnant compte tenu de la quantité significative d'informations partagées par la Ville de Montréal à la suite des demandes d'accès à l'information. De cette superficie, environ 19,31 % étaient considérés comme étant prioritaires et hautement prioritaires au verdissement (361 998 m²), alors qu'un peu plus de la moitié était considérée comme étant non prioritaire (978 385 m²). Malgré tout, les zones prioritaires et hautement prioritaires des administrations municipales arrivent au troisième rang, après celles des industries pétrolières (non trouvées au Registre des entreprises) et des industries des produits raffinés du pétrole.

Les six secteurs d'activités économiques et groupes suivants : sociétés de placement de portefeuille, exploitants de bâtiments et de logements, agences d'assurances et agences immobilières, entreprises de promotion et construction de bâtiments résidentiels, personnes physiques, et autres services relatifs à la construction, occupaient près de 1,12 km² d'espace considéré comme étant prioritaire et hautement prioritaire au verdissement. Considérant la réticence potentielle des propriétaires de ces secteurs au verdissement de leur propriété, on pourrait examiner la pertinence d'utiliser les codes d'activité économique des propriétaires comme indicateurs du potentiel réel de transformation d'un terrain.

4.6 Avantages du verdissement

En 2017, le produit intérieur brut (PIB) de l'agglomération de Montréal était estimé à 134 G\$ (Ville de Montréal, 2020a). Une telle somme répartie sur l'ensemble du territoire représente une moyenne de 268,94 \$/m², ce qui suggère les terrains vacants recensés (contaminés ou non) dans la présente étude génèrent des pertes considérables en biens et services. Le verdissement de ces terrains pourrait être avantageux, car la valeur moyenne des services écosystémiques rendus par les infrastructures naturelles a été estimée à 31 696 \$ US (valeur de 2013) par hectare par année (Revéret, 2017). En ajustant la devise et le taux d'inflation, cette valeur représenterait aujourd'hui environ 5 \$ /m² (Banque du Canada, 2022; US Inflation Calculator, 2022).



© Louise Héneault-Ethier

Au-delà du bon vouloir des propriétaires privés, le gouvernement municipal pourrait appliquer certaines mesures incitatives pour encourager le verdissement des terrains vacants sur son territoire. Une taxe ou un crédit pourrait s'appliquer aux terrains vacants en fonction de leur coefficient de biotope par surface (Urbanisme participatif, 2019). L'arrondissement Rosemont–La Petite-Patrie a d'ailleurs proposé une réforme réglementaire permettant de fixer un coefficient de biotope minimal plus élevé dans certains secteurs afin d'avoir un impact global sur tout le territoire (Ville de Montréal, 2021b). La Ville pourrait également mettre sur pied un plan d'acquisition des espaces privés vacants les plus critiques. « En vertu de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme, les municipalités québécoises ont le pouvoir d'exiger une contribution visant l'aménagement de parcs, de terrains de jeux ou d'espaces naturels lorsqu'elles évaluent et approuvent certaines opérations cadastrales ou qu'elles délivrent des permis de construction » (Hénault-Ethier et Marquis, 2018). L'acquisition et l'aménagement de certains terrains vacants pourraient donc être financés ainsi. La Fondation David Suzuki a également mis de l'avant le concept d'une Politique du 1 % pour les infrastructures naturelles qui s'inspire de la Politique d'intégration des arts à l'architecture (Hénault-Ethier et Marquis, 2018). Si une telle politique était appliquée tant au secteur public que privé, une partie du budget alloué aux projets réalisés à proximité de terrains vacants pourrait être utilisée pour leur acquisition et leur transformation.

5. Conclusion

La présente étude a permis de démontrer l'intérêt d'utiliser un outil cartographique d'aide à la décision pour guider les interventions de verdissement de terrains vacants potentiellement contaminés en milieux urbains. Un territoire limité de l'île de Montréal a été sélectionné afin d'explorer une méthodologie qui intègre l'EMC aux SIG. Le potentiel de verdissement a été déterminé à l'aide de quatre contraintes, et les priorités de verdissement ont été déterminées en fonction de six facteurs, dont l'importance relative a été déterminée par une AHP. Ainsi, 6,60 km² d'espace vacant potentiellement contaminé ont été recensés et hiérarchisés en fonction de leur potentiel et priorité de verdissement pour augmenter la résilience des villes aux changements climatiques. Parmi les espaces définis à l'intérieur de l'aire d'étude, 28,45 % (1,87 km²) appartenaient aux administrations municipales, dont 19,31 % (361 998 m²) étaient considérés comme étant prioritaires et hautement prioritaires au verdissement. Les résultats suggèrent donc que les villes ont un fort potentiel pour développer des espaces verts urbains sur leurs propres terrains vacants potentiellement contaminés afin de répondre aux objectifs de verdissement qu'elles se sont fixés.

La priorisation de verdissement présentée sur la carte composite finale pourrait être utilisée comme règle de décision, mais celle-ci demeure préliminaire, car certains paramètres de nature physique, réglementaire, sociale et économique, n'ont pas été pris en considération. Par exemple, une grande proportion des terrains semblent appartenir à des personnes morales exerçant des activités dans les domaines de la construction, la promotion ainsi que l'exploitation de bâtiments et de logements, ce qui suppose un développement immobilier dans un avenir rapproché. Afin d'ajuster la pondération de chaque critère d'évaluation en fonction de leur importance ou préférence relative, il aurait été nécessaire de consulter plusieurs experts et professionnels locaux. L'intégration de nouvelles composantes et l'ajustement de leur pondération permettraient de raffiner l'approche et d'obtenir des résultats plus raisonnables qui s'harmonisent mieux avec la réalité locale et actuelle. Les prochaines évaluations devraient également être accompagnées d'une analyse de sensibilité permettant de remettre en perspective l'impact des différents critères et de leur pondération respective.

Certaines difficultés liées à l'identification des terrains vacants potentiellement contaminés ont pu être mises en lumière dans cette étude. Il semblerait impératif de procéder à une évaluation visuelle afin de bien circonscrire l'ensemble des parties de lots qui sont vacants. Le potentiel de contamination des terrains vacants pourrait être évalué à partir de prédictions réalisées sur la base des activités antérieures ayant eu lieu sur les terrains recensés. Cette approche permettrait de contourner les obstacles liés à l'accessibilité très restreinte de données fiables concernant la contamination des sols.

L'approche présentée ici a l'avantage d'être très flexible; on peut aisément l'ajuster en tenant compte des jeux de données, des objectifs et des contraintes uniques de ses utilisateurs. Une évaluation multicritère comme celle-ci peut être modifiée et adaptée à d'autres besoins d'aménagement du territoire afin d'éclairer la prise de décisions concernant une panoplie d'autres objectifs qui vont au-delà du verdissement. Les recherches futures pourraient donc se concentrer sur l'évaluation du potentiel de différents types de verdissement (temporaire et permanent), ainsi que sur le potentiel de conservation des terrains vacants potentiellement contaminés. La méthodologie a été décrite en détail, de sorte qu'elle puisse être améliorée et adaptée aux besoins de ses utilisateurs. En adoptant une méthode d'évaluation appropriée, les différentes parties prenantes pourront mieux reconnaître le potentiel écologique des espaces vacants publics et privés situés sur leur territoire, et sélectionner les endroits les plus appropriés pour répondre à leurs objectifs. Une fois améliorée, la méthodologie proposée pourra être appliquée sur un territoire élargi, ainsi que sur le territoire d'autres grandes villes canadiennes souhaitant optimiser les services écosystémiques produits sur des terrains vacants de leur territoire. Elles pourront ainsi contribuer à augmenter leur résilience aux changements climatiques.

6. Références

A. Pagano, Michael, and Ann O'M. Bowman. 2000. "Vacant Land in Cities: An Urban Resource." *Center on Urban & Metropolitan Policy* (December): 9.

Abebe, Mathias Tesfaye, and Tebarek Lika Megento. 2017. "Urban Green Space Development Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis in Addis Ababa Metropolis." *Applied Geomatics* 9(4): 247–61.

Al-Saadi, Luma M., Sundus H. Jaber, and Monim H. Al-Jiboori. 2020. "Variation of Urban Vegetation Cover and Its Impact on Minimum and Maximum Heat Islands." *Urban Climate* 34: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100707>.

Antoniadis, Vasileios et al. 2021. "Phytoremediation Potential of Twelve Wild Plant Species for Toxic Elements in a Contaminated Soil." *Environment International* 146.

Balmer, Kevin et al. 2005. 52 Master of Urban and Regional Planning Workshop Projects *The Diggable City: Making Urban Agriculture a Planning Priority*. https://pdxscholar.library.pdx.edu/usp_murp/52.

Banque du Canada. 2022. "Convertisseur de Devises." *Banque du Canada*. <https://www.banqueducanada.ca/taux/taux-de-change/convertisseur-de-devises/> (January 10, 2022).

Barzehkar, Mojtaba, Naghmeh Mobarghaee Dinan, and Amir Salemi. 2016. "Environmental Capability Evaluation for Nuclear Power Plant Site Selection: A Case Study of Sahar Khiz Region in Gilan Province, Iran." *Environmental Earth Sciences* 75(12).

Beaulieu, Michel. 2016. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) *Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés*.

Beaulieu, Michel, Renée Gauthier, Mathieu Laporte-Saumure et Veronika Varfalvy. 2021. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques *Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés*.

Benazon, N. 1995. "Soil Remediation: A Practical Overview of Canadian Cleanup Strategies and Commercially Available Technology." *Hazardous Materials Management*.

Cantin Cumyn, Madeleine. 2011. « L'eau, une ressource collective : portée de cette désignation dans la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection. » *Les Cahiers de droit* 51 (3–4) : 595–615. www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/bilan/bilan_synthese0307.pdf.

Canue. 2022. "Cartographie Des Zones Climatiques Locales." *Canadian Urban Environmental Health Research Consortium*. <https://canue.ca/meteorologie-et-climat/?lang=fr> (January 10, 2022).

Chapman, Peter M. 2007. "Determining When Contamination Is Pollution - Weight of Evidence Determinations for Sediments and Effluents." *Environment International* 33(4): 492–501.

CMM. 2017. Communauté métropolitaine de Montréal *Indice Canopée Métropolitain - Méthodologie*.

CMM. 2016. « Données numériques d'utilisation du sol - Format SHP. » *Communauté métropolitaine de Montréal*. <http://observatoire.cmm.qc.ca/observatoire-grand-montreal/produits-cartographiques/donnees-georeferencees/> (10 janvier 2022).

- . 2019. « Indice de canopée métropolitain - Format TIF. » *Communauté métropolitaine de Montréal*. <http://observatoire.cmm.qc.ca/observatoire-grand-montreal/produits-cartographiques/donnees-georeferences/> (1^{er} janvier 2020).
- Cunniff, Jennifer et al. 2015. "High Yielding Biomass Genotypes of Willow (Salix Spp.) Show Differences in below Ground Biomass Allocation." *Biomass and Bioenergy* 80: 114–27.
- Dağıstanlı, Celal, İnci Demirağ Turan, and Orhan Dengiz. 2018. "Evaluation of the Suitability of Sites for Outdoor Recreation Using a Multi-Criteria Assessment Model." *Arabian Journal of Geosciences* 11(17).
- Desjardins, Dominic. 2019. Société québécoise de phytotechnologie *La stabilisation des pentes*.
- Donadieu, Pierre, Élisabeth Rémy et Michel-Claude Girard. 2016. « Les sols peuvent-ils devenir des biens communs? » *Natures Sciences Sociétés* 24 (3) : 261–69.
- DRSP. 2016. Direction régionale de santé publique (DRSP) *Anciennes carrières sur le territoire de la Ville de Montréal - Message de la Direction régionale de santé publique*. www.ciusss-centresudmtl.gouv.qc.ca.
- Eyquem, Joanna, et Blair Feltmate. 2022. *Chaleur Extrême Irréversible : Protéger Les Canadiens. Ennes et Les Collectivités d'un Avenir Mortel*. Centre Intact d'adaptation au climat. Université de Waterloo. www.uwaterloo.ca.
- FCM. 2015. Fédération canadienne des municipalités *Commencer à revitaliser vos sites contaminés : S'engager à agir*. www.fcm.ca/fmv.
- Ferro, A et al. 2003. "Maintaining Hydraulic Control Using Deep Rooted Tree Systems." *Advances in biochemical engineering/biotechnology* 78: 125–56.
- Foissard, X., V. Dubreuil, and H. Quéno. 2019. "Defining Scales of the Land Use Effect to Map the Urban Heat Island in a Mid-Size European City: Rennes (France)." *Urban Climate* 29. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02174469>.
- Fortin Faubert, Maxime. 2022. « Phytoremédiation d'un sol contaminé par des contaminants organiques et inorganiques - Thèse de doctorat. » Université de Montréal.
- Fortin Faubert, Maxime, Dominic Desjardins, Mohamed Hijri, and Michel Labrecque. 2021. "Willows Used for Phytoremediation Increased Organic Contaminant Concentrations in Soil Surface." *Applied Sciences (Switzerland)* 11(7).
- Fortin Faubert, Maxime, Mohamed Hijri, and Michel Labrecque. 2021. "Short Rotation Intensive Culture of Willow, Spent Mushroom Substrate and Ramial Chipped Wood for Bioremediation of a Contaminated Site Used for Land Farming Activities of a Former Petrochemical Plant." *Plants* 10(3): 520.
- Francoeur, Xavier W., Jérôme Dupras, Danielle Dagenais et Christian Messier. 2019. *Où et comment complexifier les espaces verts du grand Montréal pour s'adapter aux changements globaux*.
- Gelan, Eshetu. 2021. "GIS-Based Multi-criteria Analysis for Sustainable Urban Green Spaces Planning in Emerging Towns of Ethiopia: The Case of Sululta Town." *Environmental Systems Research* 10(1): 1–14.
- Gerhardt, Karen E, Perry D Gerwing, and Bruce M Greenberg. 2017. "Opinion: Taking Phytoremediation from Proven Technology to Accepted Practice." *Plant Science* 256: 170–85. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945216308123>.
- Goepel, Klaus D. 2013. "Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making in Corporate Enterprises – a New AHP Excel Template with Multiple Inputs." In *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process 2013*, Creative Decisions Foundation, 1–10.
- Google Earth. 2019. "Images Satellite." *Données cartographiques 2019*. <https://www.google.ca/maps> (1^{er} janvier 2019).
- Gouvernement du Canada. 2016. « Recensement de la population. » *Statistique Canada*. <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/index-fra.cfm> (1^{er} octobre 2019).

- . 2019. « Inventaire des sites contaminés fédéraux. » *Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada*. <https://www.tbs-sct.gc.ca/fcsi-rscf/home-accueil-fra.aspx> (1^{er} octobre 2019).
- . 2021. « Recensement de La population. » *Statistique Canada*. https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&SDDS=3901 (19 février 2022).
- Gouvernement du Québec. 2021. « LQE Chapitre Q-2. » *Gouvernement du Québec*. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/Q-2/> (10 novembre 2021).
- Hébert, Jocelyne et Julie Bernard. 2013. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs *Bilan sur la gestion des terrains contaminés au 31 décembre 2010*.
- Hénault-Ethier, Louise et coll. 2021. 3 Fondation David Suzuki *Volume III : Changements climatiques au Québec : S'adapter pour un meilleur avenir. Enjeux stratégiques de déploiement des infrastructures naturelles et des phytotechnologies*.
- Hénault-Ethier, Louise et Didier Marquis. 2018. *1 % Pour les infrastructures naturelles et les phytotechnologies*.
- ImmoProof. 2018. « ImmoProof. » <https://www.immoproof.ca> (10 janvier 2022).
- INSPQ. 2012. « Températures de surface (îlots de chaleur et fraîcheur). » *Données ouvertes - Québec*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/ilots-de-chaleur-fraicheur-urbains-et-temperature-de-surface/resource/37632699-e3ba-41ba-8ed4-edc9ca55eddd> (1^{er} janvier 2019).
- . 2016a. « Indice de défavorisation du Québec 2016. » *Données ouvertes - Québec*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/indice-de-defavorisation-du-quebec-2016> (1^{er} janvier 2019).
- . 2016 b. « Indice de défavorisation du Québec 2016. » *Institut national de santé publique du Québec*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/indice-de-defavorisation-du-quebec-2016> (18 février 2022).
- IRBV. 2021. "Phytoremédiation de Sites Contaminés." *Institut de Recherche en Biologie Végétale et Jardin Botanique de Montréal*. <https://www.irbv.umontreal.ca/personnel/chercheurs/michel-labrecque/labrecque-projets/labrecque-phytoremediation> (15 octobre 2021).
- Jaimes, Noel Bonfilio Pineda et al. 2012. "Determination of Optimal Zones for Forest Plantations in the State of Mexico Using Multi-Criteria Spatial Analysis and GIS." *Journal of Geographic Information System* 04(03): 204–18.
- Kabata-Pendias, Alina. 2010. *Trace Elements in Soils and Plants: Fourth Edition*. 4th ed. Boca Raton, USA: CRC Press.
- Kaethler, Terra Murphy. 2006. *Growing Space: The Potential for Urban Agriculture in the City of Vancouver*. <http://community-wealth.org/sites/clone.community-wealth.org/files/downloads/report-kaethler.pdf>.
- Kaveckis, Giedrius, and Benjamin Bechtel. 2014. "Land Use Based Urban Vulnerability to Climate Change Assessment." In *9th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2014*, Dept. of Mathematical Modelling.
- Kuppusamy, Saranya et al. 2016. "Ex-Situ Remediation Technologies for Environmental Pollutants: A Critical Perspective." In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, , 117–92.
- Landry, Fanny et coll., 2021. 2 Fondation David Suzuki *Volume II : Changements climatiques au Québec : S'adapter pour un meilleur avenir. Recommandations d'objectifs et stratégies d'expert. e. s à déployer dans les municipalités*.
- Landry, Félix et Louise Hénault-Ethier. 2021. 1 Fondation David Suzuki *Volume I : Changements climatiques au Québec : S'adapter pour un meilleur avenir. Revue de littérature des indicateurs et études de cas pour inspirer les municipalités à agir*.
- Lapointe-Rioux, Maude. 2015. « Conception d'un outil d'aide à la décision en phytoremédiation. »
- Liu, Hao et al. 2009. "Heavy Metal Contamination in Soil alongside Mountain Railway in Sichuan, China." *Environmental Monitoring and Assessment* 152(1–4): 25–33.

- MA, Jian Hua, Chun Jie CHU, Jian LI, and Bo SONG. 2009. "Heavy Metal Pollution in Soils on Railroad Side of Zhengzhou-Putian Section of Longxi-Haizhou Railroad, China Project Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30570301)." *Pedosphere* 19(1): 121–28.
- Mahdavi, Ali, and Maryam Niknejad. 2014. "Site Suitability Evaluation for Ecotourism Using MCDM Methods and GIS: Case Study-Lorestan Province, Iran." *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences J. Bio. & Env. Sci* 4 (6) : 2220–6663. <http://www.innspub.net>.
- Maure, Fanny et coll. 2018. Fondation David Suzuki *Le rôle des infrastructures naturelles dans la prévention des inondations dans la communauté métropolitaine de Montréal (CMM)*. <https://fr.davidsuzuki.org/publication-scientifique/le-role-des-infrastructures-naturelles-dans-la-prevention-des-inondations-dans-la-communaute-metropolitaine-de-montreal/>.
- McClintock, Nathan, Jenny Cooper, and Snehee Khandeshi. 2013. "Assessing the Potential Contribution of Vacant Land to Urban Vegetable Production and Consumption in Oakland, California." *Landscape and Urban Planning* 111(1): 46–58.
- McHugh, Nicola et al. 2015. "Modelling Short-Rotation Coppice and Tree Planting for Urban Carbon Management - a Citywide Analysis." *Journal of Applied Ecology* 52(5): 1237–45.
- MELCC. 2017. « Répertoire des terrains contaminés. » *Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*. <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/terrains-contamines/recherche.asp> (17 février 2017).
- . 2019a. « Repère GTC. » *Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*. <https://www.pes1.enviroweb.gouv.qc.ca/AtlasPublic/CartesPubliques/cartesmdelcc.html?cfg=TerrainsContamines.json> (10 janvier 2019).
- . 2019 b. « Répertoire des terrains contaminés (GTC). » *Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/repertoire-des-terrains-contamines-gtc> (1^{er} janvier 2019).
- . 2021. « Annexe 2 : Grille des critères génériques pour les sols. » *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2.htm.
- MERN. 2019. « Polygone de lot - Format SHP. » *Banque de données cadastrales du Québec - 2019*. <https://geoapp.bibl.ulaval.ca/Home/Index> (9 octobre 2019).
- Mirck, Jaconette, and Timothy A. Volk. 2010. "Seasonal Sap Flow of Four Salix Varieties Growing on the Solvay Wastebeds in Syracuse, NY, USA." *International Journal of Phytoremediation* 12(1): 1–23.
- Montréal. 2019. *Vision de développement économique du territoire secteur industriel de la Pointe-de-l'Île Document de consultation*.
- MTESS. 2017. « Liste des codes d'activités économiques (CAE). » *Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale*. https://www.registreentreprises.gouv.qc.ca/fr/demarrer/immatriculer/classification_activite_economique.aspx (10 janvier 2020).
- . 2020. « Registre des entreprises du Québec. » *Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Solidarité sociale*. <https://www.registreentreprises.gouv.qc.ca/fr/default.aspx> (10 janvier 2020).
- Nowak, David J., Daniel E. Crane, and Jack C. Stevens. 2006. "Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States." *Urban Forestry and Urban Greening* 4(3–4): 115–23.
- Onwubuya, Kene et al. 2009. "Developing Decision Support Tools for the Selection of 'Gentle' Remediation Approaches." *Science of the Total Environment* 407(24): 6132–42.
- Padoan, Elio et al. 2020. "The Suitability of Short Rotation Coppice Crops for Phytoremediation of Urban Soils." *Applied Sciences* 10: 1–14.

- Pampalon, Robert et coll., 2012. « Un indice régional de défavorisation matérielle et sociale pour la santé publique au Québec et au Canada. » *Canadian Journal of Public Health* 103(S2): S17–22. <http://www.inspq.qc.ca/defavorisationclsc/>.
- Pandey, Vimal Chandra, and Deblina Maiti. 2020. "Chapter 1 - Perennial Grasses in Phytoremediation—Challenges and Opportunities." In *Phytoremediation Potential of Perennial Grasses*, Elsevier, 1–29.
- Pearsall, Hamil. 2017. "Staying Cool in the Compact City: Vacant Land and Urban Heating in Philadelphia, Pennsylvania." *Applied Geography* 79: 84–92.
- Piran, Heshmat et al. 2013. "Site Selection for Local Forest Park Using Analytic Hierarchy Process and Geographic Information System (Case Study : Badreh County)." *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 6(7): 930–35. <https://www.researchgate.net/publication/269410424>.
- Pramanik, Malay Kumar. 2016. "Site Suitability Analysis for Agricultural Land Use of Darjeeling District Using AHP and GIS Techniques." *Modeling Earth Systems and Environment* 2(2).
- Prigioniero, Antonello, Daniela Zuzolo, Ülo Niinemets, and Carmine Guarino. 2021. "Nature-Based Solutions as Tools for Air Phytoremediation: A Review of the Current Knowledge and Gaps." *Environmental Pollution* 277: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116817>.
- QGIS Development Team. 2021. "Quantum GIS Geographic Information System." <https://www.qgis.org>.
- R Core Development Team. 2021. "R: A Language and Environment for Statistical Computing." *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*: 1–2673. <https://www.r-project.org/>.
- Rayfield, Bronwyn et coll., 2015. Fondation David Suzuki *Les infrastructures vertes. Un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Montréal*. http://www.davidsuzuki.org/fr/publications/DSF_Les_infrastructures_vertes.pdf.
- Revêret, Jean-Pierre. 2017. Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) *Valeur économique des effets sur la santé de la nature en ville*. Gouverneme. Gouvernement du Québec. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2267_valeur_economique_effets_sante_nature_ville_revisee.pdf.
- Robinson, Brett et al. 2003. "Assessment of Phytoremediation as Best Management Practice for Degraded Environments." *Environmental Management using Soil–Plant Systems*: 39–49.
- Roy, Madhumita, and Vimal Chandra Pandey. 2020. "Role of Microbes in Grass-Based Phytoremediation." In *Phytoremediation Potential of Perennial Grasses*, Elsevier, 303–36.
- Rüth, Björn, Bernd Lennartz, and Petra Kahle. 2007. "Water Regime of Mechanical-Biological Pretreated Waste Materials under Fast-Growing Trees." *Waste management research the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association ISWA* 25(5): 408–16. <http://wmr.sagepub.com>.
- Saaty, R W. 1987. "The Analytic Hierarchy Process-What It Is and How It Is Used." *Mathematical Modelling* 9(3–5): 161–76.
- Saaty, Thomas L. 2005. "Analytic Hierarchy Process." In *Encyclopedia of Biostatistics*, John Wiley & Sons, Ltd.
- Santé Montréal. 2016. « Sols contaminés. » *Ville de Montréal*. <https://santemontreal.qc.ca/professionnels/drsp/sujets-de-a-a-z/sols-contamines/information-generale/> (10 mars 2021).
- Shashua-Bar, L, et M. E. Hoffman. 2000. "Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street. An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees." *Energy and Buildings* 31(3): 221–35. www.elsevier.com/locate/enbuild.
- Stewart, I. D., et T. R. Oke. 2012. "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies." *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12): 1879–1900.

Strelkov, Alexandr K., Sergey V. Stepanov, Svetlana Yu. Teplykh, and Ashot M. Sargsyan. 2016. "Monitoring Pollution Level in Railroad Right-of-Way." *Procedia Environmental Sciences* 32: 147–54.

Tétreault, Louis-François, et Geneviève Hamelin. 2020. "courriel."

Urbanisme participatif. 2019. *Coefficient de biotope par surface (CBS)*.

US Inflation Calculator. 2022. "US Inflation Calculator." *US Inflation Calculator*. <https://www.usinflationcalculator.com> (10 janvier 2022).

Vaz Monteiro, Madalena, Kieron J. Doick, Phillip Handley, and Andrew Peace. 2016. "The Impact of Greenspace Size on the Extent of Local Nocturnal Air Temperature Cooling in London." *Urban Forestry and Urban Greening* 16: 160–69.

Ventix. 2009. *Potentiel de revalorisation de terrains contaminés situés dans huit municipalités du Québec : Évaluation des superficies, des coûts de réhabilitation et des valeurs foncières*.

Villaseñor, Nélida R., Luna A. Chiang, H. Jaime Hernández, and Martín A.H. Escobar. 2020. "Vacant Lands as Refuges for Native Birds: An Opportunity for Biodiversity Conservation in Cities." *Urban Forestry and Urban Greening* 49: 2–10. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1618866719301475>.

Ville de Montréal-Est. 2019. « Liste des lots contaminés. » *Développement et affaires*.

Ville de Montréal. 2016. Ville de Montréal *Montréal durable 2016-2020*.

———. 2017a. Ville de Montréal *Plan d'adaptation aux changements climatiques de l'agglomération de Montréal 2015-2020 | Édition 2017*. http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PACCAM_SYNTHESE_2015.PDF.

———. 2017 b. « Vulnérabilité aux crues - Format SHP. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/vulnerabilite-changements-climatiques> (1^{er} janvier 2019).

———. 2017 c. « Vulnérabilité aux pluies abondantes - Format SHP. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/vulnerabilite-changements-climatiques> (1^{er} janvier 2019).

———. 2019a. « Anciennes carrières et dépôts de surface du territoire montréalais - Format SHP. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/anciennes-carrieres-depots-surface> (1^{er} janvier 2019).

———. 2019 b. « Liste des terrains contaminés. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/liste-des-terrains-contamines> (1^{er} janvier 2019).

———. 2019 c. « Liste des terrains contaminés. » *Ville de Montréal*. http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,74643772&_dad=portal&_schema=PORTAL (1^{er} janvier 2019).

———. 2019 d. « Réseau ferroviaire - Format SHP. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/schema-transport> (1^{er} janvier 2019).

———. 2020a. Ville de Montréal *Le produit intérieur brut - Agglomération de Montréal*.

———. 2020 b. « Limites terrestres de l'île de Montréal - Format SHP. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/limites-terrestres> (11 novembre 2020).

———. 2020 c. « Milieu humide - Format SHP. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/milieu-humide> (10 janvier 2020).

———. 2020 d. « Milieux naturels intérieurs protégés ou en voie de protection de l'agglomération de Montréal - Format SHP. » *Données ouvertes - Montréal*. <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/milieu-naturel-protege> (10 janvier 2020).

———. 2020e. Ville de Montréal *Plan climat de Montréal 2020-2030*.

- . 2021. «Anciennes carrières.» *Ville de Montréal*. <https://montreal.ca/sujets/anciennes-carrieres> (10 mars 2021).
- . 2021b. "Rosemont–La Petite-Patrie Réforme Son Règlement d'urbanisme Pour Accélérer La Transition Écologique." *Le portail officiel de la Ville de Montréal*. http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=5798,42657625&_dad=portal&_schema=PORTAL&id=33680 (11 février 2022).
- Weyens, Nele et al. 2015. "The Role of Plant-Microbe Interactions and Their Exploitation for Phytoremediation of Air Pollutants." *International Journal of Molecular Sciences* 16(10): 25576–604.
- Witkomirski, B. et al. 2011. "Railway Transportation as a Serious Source of Organic and Inorganic Pollution." *Water, Air, and Soil Pollution* 218(1–4): 333–45.
- Witkomirski, Boguslaw et al. 2012. "Railway Tracks - Habitat Conditions, Contamination, Floristic Settlement - A Review." *Environment and Natural Resources Research* 2(1).
- WWF-Canada. 2019. "Phytoremédiation de Sites Industriels Dans l'est de Montréal." *World Wildlife Fund Canada*. <https://wwf.ca/fr/biopolis-projects/phytoremediation-of-eastern-montreal-industrial-sites-2/> (1 décembre 2019).
- Yates, Jeff. 2015. "Une vingtaine de résidences de Rosemont–La Petite-Patrie bâties sur un ancien dépotoir." *Journal Metro*.
- Zabbey, Nenibarini, Kabari Sam, and Adaugo Trinitas Onyebuchi. 2017. "Remediation of Contaminated Lands in the Niger Delta, Nigeria: Prospects and Challenges." *Science of The Total Environment* 586: 952–65. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969717303169>.

7. Annexe

Tableau S1. Liens de téléchargement des jeux de données

DONNÉE	ANNÉE	FORMAT	SOURCE	URL DE TÉLÉCHARGEMENT
Limites terrestres de l'île de Montréal	2019	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	https://data.montreal.ca/dataset/b628f1da-9dc3-4bb1-9875-1470f891a1b1/resource/674c2a18-e013-42ca-bfa6-3bb7358e820d/download/terre.zip
Limites terrestres de la zone d'étude	2019	SHP	GitHub - Maxime Fortin Faubert	https://github.com/MaximeFortinFaubert/SHF/raw/main/Territoire.zip
Limite administrative de Montréal	2020	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	https://data.montreal.ca/dataset/00bd85eb-23aa-4669-8f1b-ba9a000e3d48/resource/6217ce10-36ce-4bbd-b419-8f0a10d3b280/download/limadmin-shp.zip
Réseau hydrographique national	2021	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	http://ftp.geogratis.gc.ca/pub/nrcan/vecor/geobase_rhn_rhn/shp_fr/02/rhn_rhn_0210001_shp_fr.zip
Grands parcs, parcs et espaces verts	2022	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	https://data.montreal.ca/dataset/2e9e4d2f-173a-4c3d-a5e3-565d79baa27d/resource/c57baaf4-dfa8-4aa4-9358-61eb7457b650/download/shapelle.zip
Données cadastrales du Québec	2019	SHP	Banque de données cadastrales du Québec	https://appli.mern.gouv.qc.ca/info/ol/
Données numériques d'utilisation du sol	2016	SHP	Observatoire Grand Montréal - Communauté métropolitaine de Montréal (CMM)	http://observatoire.cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/geomatique/UtilisationDuSol/2016_Shapefiles/660-US-2016.zip
Terrains vacants industriels du SIPI	2019	PDF	Service développement économique - Ville de Montréal (Montréal 2019)	https://www.realisonsmtl.ca/sipi
Données cartographiques Google	2019	-----	Google Earth	
Avis de contamination (Montréal)	2019	PDF	Registre foncier - via la liste des terrains contaminés de la Ville de Montréal	http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=723774643772&_dad=portal&_schema=PORTAL
Avis de contamination (Montréal-Est)	2019	PDF	Registre foncier - via la liste des terrains contaminés de la Ville de Montréal-Est	https://ville.montreal-est.qc.ca/developpement-et-a-faires/liste-des-lois-contamines/
Études de caractérisation de sol	2019	PDF	Demande d'accès à l'information - Ville de Montréal (Service de l'environnement)	
Inventaire des sites contaminés fédéraux	2019	CSV	Portail du gouvernement ouvert - Gouvernement du Canada	https://www.tbs-sct.gc.ca/fcsi-rscf/home-accueil-fra.aspx
Réseau ferroviaire	2017	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	https://data.montreal.ca/dataset/30028e66-e3b1-4478-8349-149b7c046932/resource/14b718f6-4585-4e16-8dc8-df599190e492/download/reseauferroviaire.zip
Anciennes carrières et dépôts de surface	2019	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	https://data.montreal.ca/dataset/d332b1ef-95af-42d8-a996-7e451f1c6722/resource/4197dcf3-0f90-4034-b021-85c52ba4c9c2/download/anciennes_carrieres_depots_surface.zip
Répertoire des terrains contaminés du QC.	2019	GPKG	Données Québec - MELCC	ftp://ftp.environnement.gouv.qc.ca/DONNEES_OUVERTES/Repertoire_Terrains_contamines/Repertoire_TerrainsContamines.gpkg.zip
Indice canopée métropolitain	2019	TIF	Observatoire Grand Montréal - Communauté métropolitaine de Montréal (CMM)	http://observatoire.cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/carte/canope/2019/IC_TIFF/660_IndexCanopee_2019_TIF.zip
Vulnérabilité aux crues	2015	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	https://data.montreal.ca/dataset/3603f75a-1963-4130-9fc5-ab3e7272211a/resource/61e027ca-e608-422c-924a-daf850d93c44/download/shpvulnerabilitecrues2016.zip
Vulnérabilité aux pluies abondantes	2015	SHP	Données Montréal - Ville de Montréal	https://data.montreal.ca/dataset/3603f75a-1963-4130-9fc5-ab3e7272211a/resource/f84cfc16-8e4a-42b6-94f8-97cb1bae35d4/download/shpvulnerabilitepluiesabondantes2016.zip
Températures de surface	2012	TIF	Données Québec - Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)	https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/c60da948-3bdf-422c-aeae-0ae378132eed/resource/7e5fa576-070a-48a5-846e-aadec6905faa/download/icuzip
*lots de di fusion	2016	SHP	Statistique Canada - Canada	http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/geo/bound-limit/files-fichiers/2016/ldb_000b16a_e.zip
Attributs pour îlots de di fusion	2016	XLSX	Statistique Canada - Canada	http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/geo/bound-limit/files-fichiers/2016_92-151_XBB_xlsx.zip
*Aires de di fusion	2016	SHP	Statistique Canada - Canada	https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/geo/bound-limit/files-fichiers/2016/lda_000b16a_e.zip
Attributs pour aires de di fusion	2016	CSV	Statistique Canada - Canada	https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/geo/bound-limit/files-fichiers/2016/ldf_000b16a_e.zip
Indice de défavorisation	2016	SHP	Données Québec - Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)	https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/f19b0cda-8f52-44a1-9954-a1a60daa56e/resource/e11f3c47-6dae-4bbd-ca11731d10b9/download/ad2016index.zip

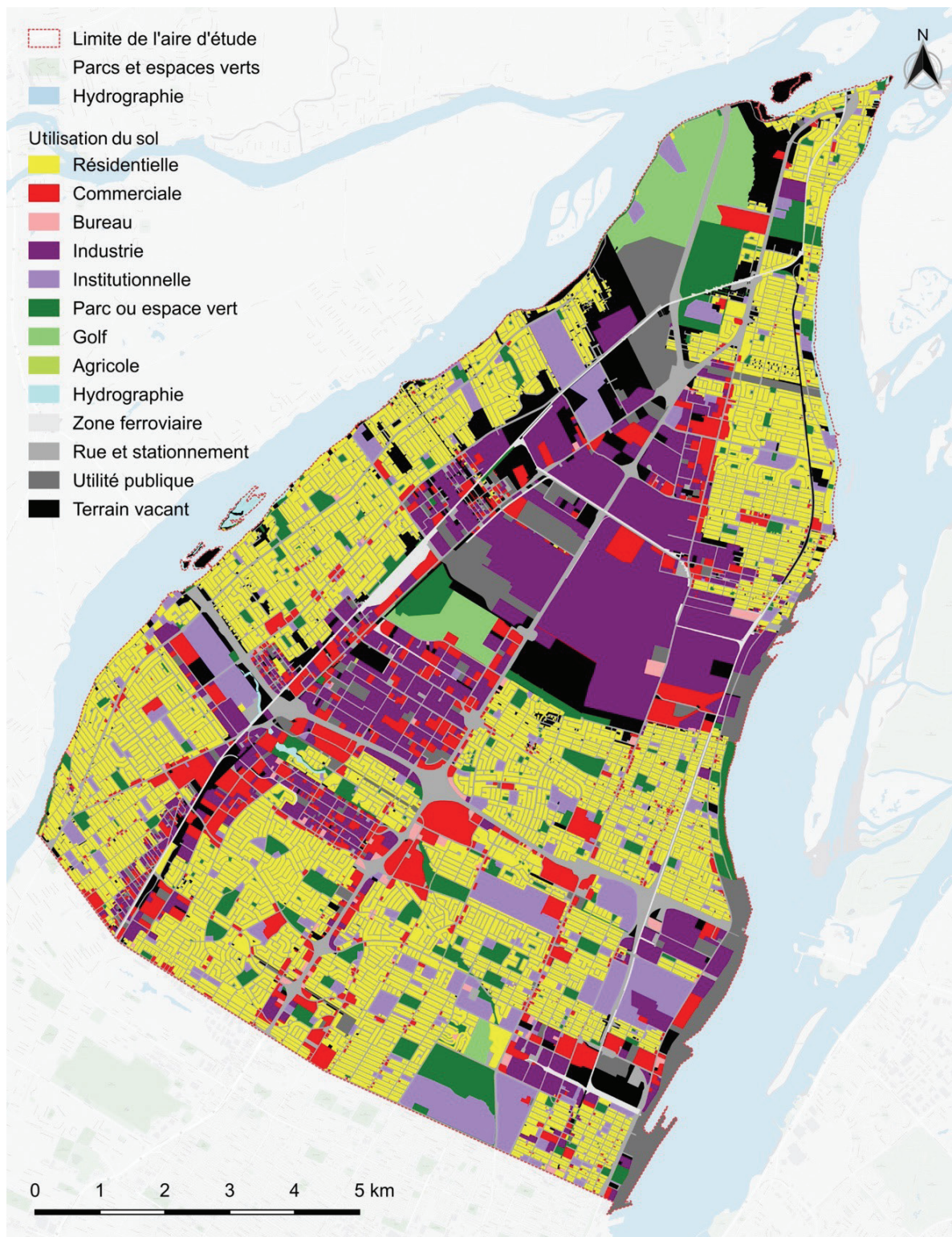


Figure S1. Données numériques d'utilisation du sol à l'intérieur de l'aire d'étude.

Sources: Limites terrestres de l'île de Montréal, Ville de Montréal, 2019; Grands parcs, parcs d'arrondissements et espaces publics, Ville de Montréal, 2022; Réseau hydrographique national, Ville de Montréal, 2021; Données numériques d'utilisation du sol, CMM, 2016; Gray Light Canvas, Esri Canada. Cartographie: Maxime Fortin Faubert. Projection: NAD83(CSRS)/MTM zone 8.

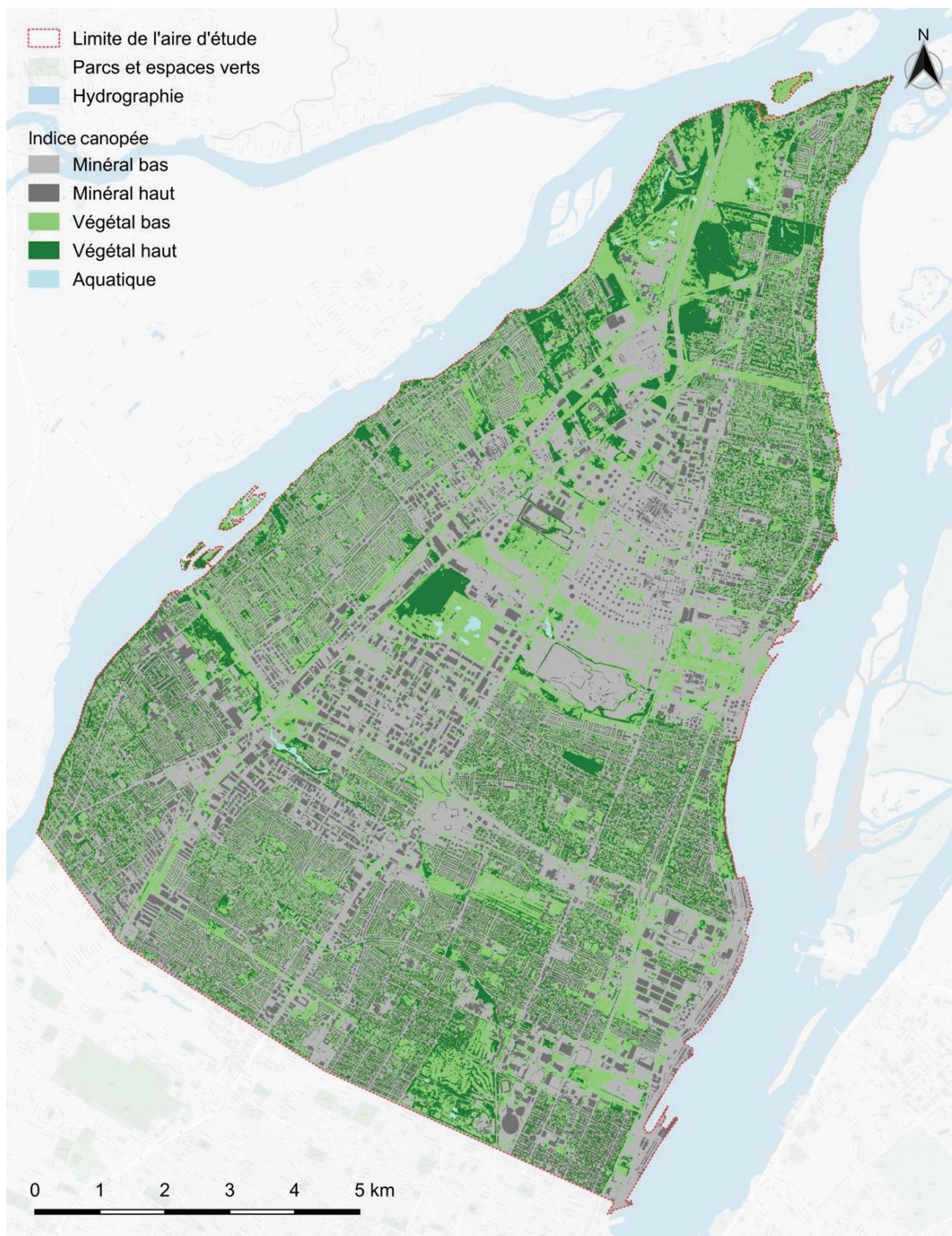


Figure S2. Indice de canopée à l'intérieur de l'aire d'étude.

Sources: Limites terrestres de l'île de Montréal, Ville de Montréal, 2019; Grands parcs, parcs d'arrondissements et espaces publics, Ville de Montréal, 2022; Réseau hydrographique national, Ville de Montréal, 2021; Indice canopée métropolitain, CMM, 2019; Gray Light Canvas, Esri Canada. Cartographie: Maxime Fortin Faubert. Projection: NAD83(CSRS)/MTM zone 8.

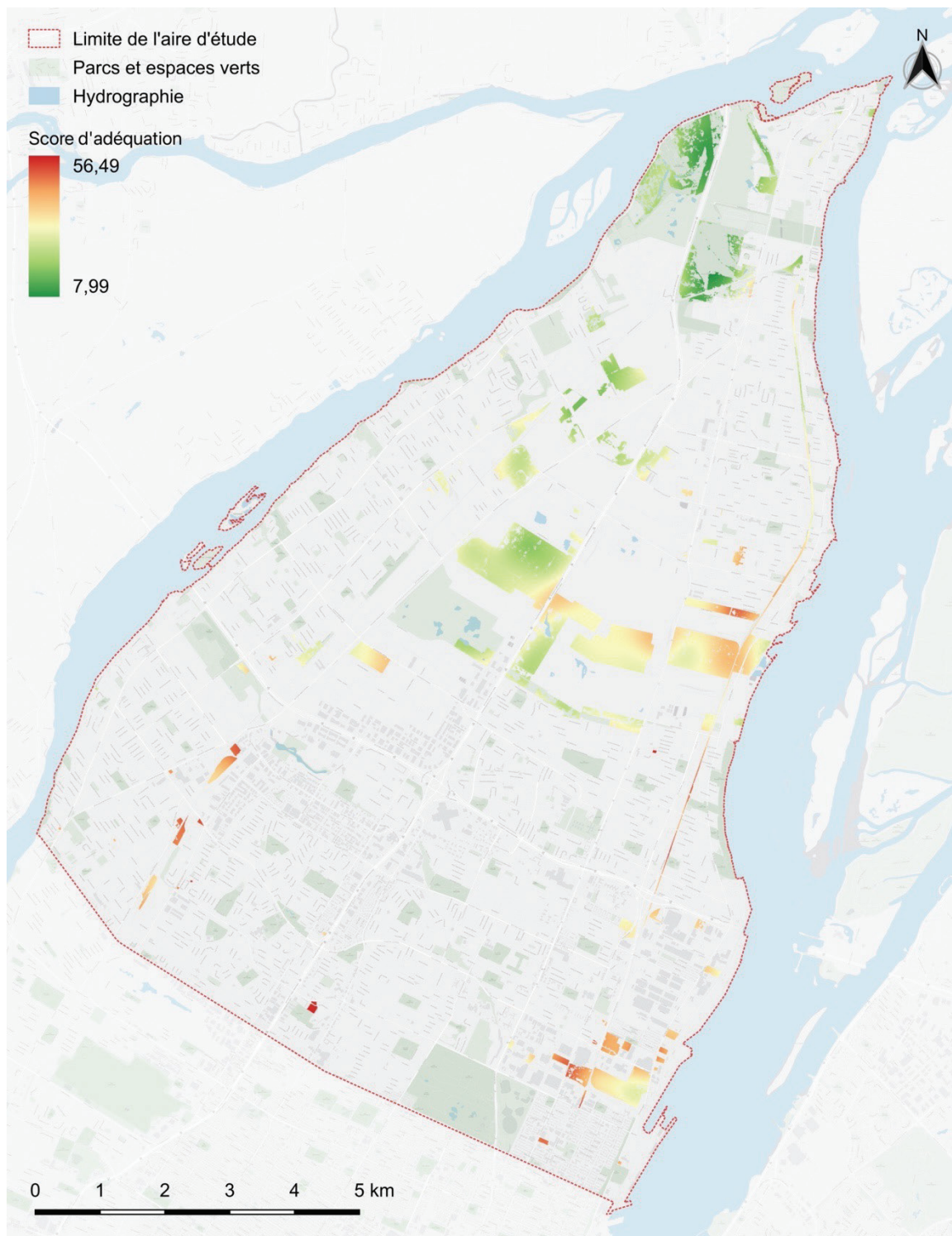


Figure S3. Carte composite présentant les valeurs du score d'adéquation.

Sources: Limites terrestres de l'île de Montréal, Ville de Montréal, 2019; Données cadastrales du Québec, MERN, 2019; Grands parcs, parcs d'arrondissements et espaces publics, Ville de Montréal, 2022; Réseau hydrographique national, Ville de Montréal, 2021; Gray Light Canvas, Esri Canada. Cartographie: Maxime Fortin Faubert. Projection: NAD83(CSRS)/MTM zone 8