

Université de Montréal

*Planification des sites de plantation d'arbres en milieu urbain :  
comparaison des sites issus de la planification municipale et des sites priorités par un outil d'aide  
à la planification*

*Par*

Alexandre Rioux

École d'urbanisme et d'architecture du paysage, Faculté de l'Aménagement

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maître  
en urbanisme

30 avril 2024

© Alexandre Rioux, 2024

Université de Montréal

Unité académique : École d'urbanisme et d'architecture du paysage, Faculté de l'Aménagement

---

*Ce mémoire intitulé*

**Planification des sites de plantation d'arbres en milieu urbain :  
comparaison des sites issus de la planification municipale et des sites priorités par un outil  
d'aide à la planification**

*Présenté par*

**Alexandre Rioux**

*A été évalué par un jury composé des personnes suivantes*

**Jean-Philippe Meloche**  
Président-rapporteur

**Danielle Dagenais**  
Directrice de recherche

**Françoise Bichai**  
Codirectrice

**Christian Messier**  
Membre du jury

## Résumé

Face aux défis complexes posés par les changements climatiques, de nombreuses villes québécoises se sont engagées à atteindre des objectifs ambitieux en matière de plantation d'arbres et de canopée en vue de procurer les bénéfices qu'ils génèrent à leur population. Or, la planification de la plantation d'arbres urbains est un processus multidimensionnel, impliquant divers objectifs outre la survie des nouveaux arbres tels que la réduction des îlots de chaleur, l'amélioration de la santé de la population, la minimisation des coûts d'implantation. Pour ces raisons, les villes doivent adopter des approches stratégiques à la plantation d'arbres, soit une approche qui permet de prendre en compte un large éventail d'objectifs de planification simultanément et qui représente les priorités des parties prenantes locales.

Les outils d'aide à la planification (OAP), combinant les systèmes d'informations géographiques (SIG) et l'analyse multicritère, proposent une solution efficace pour synthétiser l'information nécessaire à la planification stratégique des arbres en milieu urbain. Bien que plusieurs outils de ce type aient été créés, peu ont comparé l'approche ayant recours à ces outils aux approches municipales afin de déterminer quelles étaient les différences et comment elles se présentaient.

Ainsi, un OAP australien ayant été adapté au contexte du Québec a été utilisé pour y ajouter un modèle de priorisation spatiale des emplacements pour la plantation d'arbres en milieu urbain. Les résultats de cet OAP se présentent sous la forme de cartes présentant les sites les plus stratégiques selon deux perspectives : les opportunités d'implantation et les besoins du territoire d'accueil. Ce modèle incorpore une vaste gamme d'objectifs de planification élaborés lors d'ateliers de cocréation avec des parties prenantes locales. Ces objectifs sont ensuite pondérés selon les préférences des parties prenantes afin de représenter les préoccupations locales. Plusieurs experts des milieux académiques, institutionnels et municipaux ont également été consultés afin de déterminer comment mesurer l'atteinte de ces objectifs.

Les meilleurs sites de plantation priorisés par le modèle sont ensuite spatialement comparés aux sites de plantation identifiés par trois arrondissements de la ville de Montréal (Québec, Canada)

à leur plan maître de plantation afin de déterminer leur superposition spatiale. Ceci informe de façon générale sur la répartition spatiale de sites résultant de la planification stratégique. Les plans maîtres de plantation de ces arrondissements ont également été analysés afin d'en faire ressortir les critères utilisés pour justifier le choix des sites de plantation afin de fournir des éléments de contexte pour l'interprétation des comparaisons spatiales et expliquer les divergences entre les sites sélectionnés. Une analyse individuelle des objectifs permet également d'évaluer la concordance entre la façon dont les objectifs sont pris en compte par le modèle et contribuent à la priorisation spatiale. Cela permet de mieux comprendre les divergences éventuelles avec la priorisation réalisée par le modèle, telles que les différences dans l'application des critères de priorisation.

D'une part, les faibles pourcentages de chevauchement entre les emplacements priorités par l'outil pour leur caractère stratégique et les sites priorités par les arrondissements suggère que l'outil priorise des sites qui sont spatialement distincts de ceux priorités par les arrondissements. Ceci est une opportunité pour les municipalités de mettre en œuvre de nouvelles réglementations pour inciter la plantation sur ces sites, augmentant ainsi l'indice de canopée et la diversité du patrimoine arboricole sur leur territoire. L'analyse des objectifs individuels révèle que le modèle ne reproduit pas fidèlement les critères utilisés par les arrondissements en ce qui a trait aux conflits avec les infrastructures. Cela pourrait avoir comme effet de négliger certains emplacements qui seraient autrement stratégiques pour la plantation d'arbres urbains et permet d'informer sur les améliorations futures de l'outil.

Les projets de recherche future dans le domaine devraient évaluer les services rendus par les arbres s'ils étaient plantés sur les sites les plus stratégiques afin de les comparer aux services rendus par les arbres plantés sur les sites planifiés par les municipalités. Cette approche permettrait d'estimer si la planification stratégique des arbres urbains entraîne un meilleur approvisionnement en services écologiques.

**Mots-clés** : aide à la planification, architecture de paysage, environnement, foresterie urbaine, planification stratégique, urbanisme

## Abstract

Faced with the complex challenges posed by climate change, many Quebec cities have committed to ambitious goals regarding tree planting and canopy coverage to provide the benefits they generate to their population. However, urban tree planting planning is a multidimensional process, involving various objectives beyond the survival of new trees, such as reducing heat islands, improving public health, and minimizing implementation costs. For these reasons, cities must adopt strategic approaches to tree planting, ones that consider a wide range of planning objectives simultaneously and represent the priorities of local stakeholders.

Planning support system (PSS), combining geographic information systems (GIS) and multicriteria analysis, offer an effective solution for synthesizing the information necessary for strategic tree planting in urban areas. Although several tools of this kind have been created, few have compared the approach using these tools to municipal approaches to determine the differences and how they manifest.

Thus, an Australian PSS adapted to the Quebec context was used to add a spatial prioritization model for urban tree planting locations. The results of this PSS are presented in the form of maps showing the most strategic sites from two perspectives: planting opportunities and the needs of the territory. This model incorporates a wide range of planning objectives developed during co-creation workshops with local stakeholders. These objectives are then weighted according to stakeholder preferences to represent local preferences. Several experts from academic, institutional, and municipal backgrounds were also consulted to determine how to measure the achievement of these objectives.

To inform about the spatial distribution of sites resulting from strategic planning, the most prioritized planting sites by our model are then spatially compared to planting sites identified by three boroughs in the city of Montreal (Quebec, Canada). The planting masterplans of these boroughs were also analyzed to highlight the criteria used to justify the selection of planting sites, providing context for interpreting spatial comparisons and explaining discrepancies between selected sites. An individual analysis of the objectives also assesses the alignment between how

objectives are considered by the model and contribute to spatial prioritization. This allows for a better understanding of potential discrepancies with the prioritization carried out by the model, such as differences in the application of prioritization criteria.

On one hand, the low percentages of overlap between sites prioritized by the tool for their strategic nature and sites prioritized by the boroughs suggest that the tool prioritizes sites that are spatially distinct from those prioritized by the boroughs. This presents an opportunity for municipalities to implement new regulations to encourage planting on new sites thus increasing canopy coverage and diversity of tree on their territory. The analysis of individual objectives reveals that the model does not faithfully reproduce the criteria used by the boroughs regarding conflicts with infrastructure. This could lead to neglecting certain locations that would otherwise be strategic for urban tree planting and informs future ameliorations to the model.

Future research projects in the field should evaluate the services provided by trees if they were planted on the most strategic sites to compare them to the services provided by trees planted on sites planned by municipalities. This approach would help estimate whether strategic urban tree planning leads to better provision of ecological services.

**Keywords:** environment, landscape architecture, planning support, strategic planning, urban forestry, urban planning

# Table des matières

Résumé.....	3
Abstract.....	5
Table des matières.....	7
Liste des tableaux.....	10
Liste des figures.....	11
Liste des sigles et abréviations.....	12
Remerciements.....	13
1 Introduction.....	15
1.1 Mise en Contexte.....	15
1.2 Problématique.....	17
1.2.1 La planification stratégique de la forêt urbaine.....	17
1.2.2 Les outils d'aide à la planification pour mettre en œuvre une planification stratégique de la forêt urbaine.....	19
1.3 Question et objectifs de recherche.....	20
1.4 Plan du mémoire.....	21
2 Replacer les outils d'aide à la planification parmi les théories de la planification.....	22
2.1 De la planification rationnelle globale.....	23
2.2 Les critiques de la planification rationnelle et la naissance de la planification collaborative.....	25
2.2.1 L'incrémentalisme.....	25
2.2.2 L' <i>advocacy planning</i> et les parties prenantes.....	26
2.2.3 Les problèmes pernicieux ( <i>Wicked problems</i> ).....	27

2.3	De la planification autrement rationnelle.....	29
2.4	Planifier les arbres en milieu urbain à l’intérieur d’un processus communicatif : L’apport des outils d’aide à la planification.....	31
3	Article : Strategic Urban Tree Planning in a Canadian metropolitan city: A Comparative exploration of City-Planned and MCDA-Driven Approaches .....	35
3.1	Abstract .....	35
3.2	Introduction.....	36
3.2.1	Location choice to enable strategic planning of urban trees .....	36
3.2.2	Leveraging Planning Support Systems for Strategic Planning.....	37
3.2.3	Strategic Planning of Urban Trees: Bridging Theory and Practice .....	38
3.3	Material and methods.....	39
3.3.1	Case study area .....	40
3.3.2	Development and adaptation of an urban tree spatial suitability framework from a UGI spatial suitability framework.....	42
3.3.3	Urban tree planning practices.....	46
3.3.4	Comparative analysis .....	46
3.4	Results & Discussion.....	47
3.4.1	Developed urban tree spatial suitability framework .....	47
3.4.2	Current municipal urban tree planning practices .....	50
3.4.3	Comparing site prioritization in strategic and municipal urban tree planning.....	51
3.4.4	Limitations and further research .....	57
3.5	Conclusion .....	59
S-3.6	Supplementary material.....	60
S-3.6.1	Material and methods.....	60
S-3.6.1.1	Masterlist development .....	60

S-3.6.1.2	Objective hierarchy co-construction workshops .....	62
S-3.6.1.3	Value scales consultations .....	63
S-3.6.1.4	Weight elicitation method .....	66
S-3.6.1.5	Suitability map generation .....	67
S-3.6.2	Results .....	70
S-3.6.2.1	Objective hierarchy development process overview.....	70
4	Discussion conclusive .....	73
4.1	Performance des objectifs intermédiaires.....	74
4.2	Performance des objectifs fondamentaux.....	79
4.3	Limites du modèle stratégique et recherche future .....	79
4.4	Apprentissages pour les planificateurs .....	80
5	Conclusion .....	85
6	Références bibliographiques.....	86

## Liste des tableaux

Table 1 – Overview of screened elements from the analysed planting masterplans .....	51
Table 2 – Comparative analysis between the planned planting sites and the framework generated sites, in each borough. Red = low overlap; green = high overlap. ....	55
Table S-3 : Initial objectives from the scientific and gray literature. ....	61
Table S-4 - Participants at hierarchy co-construction workshops .....	63
Table S-5 – List of experts consulted for the value scale consultations .....	64
Table S-6 – Framework and attributes for suitability map generation.....	69

## Liste des figures

Figure 1 – Ligne du temps remplaçant les différents textes présentés ainsi que leur principale contribution.....	22
Figure 2 – Employed methodology .....	39
Figure 3 – Location of the city of Montreal and studied boroughs within Canada. ....	41
Figure 4 – Description of each step in the hierarchy co-construction workshops. ....	44
Figure 5 – Objective hierarchies.....	48
Figure 6 – Generated suitability maps using our framework for the opportunities and needs perspective and strategic approach.....	49
Figure 7 – Localisation of the borough’s planned tree planting sites (left) and close-up (right). .	53
Figure 8 – Overlapping (yellow) and highest scoring (green) cells across each borough for the strategic approach.....	54
Figure S-9 – Value scale elicitation methods for discreet and continuous data.....	65
Figure S-10 – Chronology of the objective hierarchy construction. ....	71
Figure 11 – Objectif <i>Maximize functional diversity</i> dans l’arrondissement AC. ....	77
Figure 12 – Histogramme de l’objectif <i>Minimize surface runoff</i> pour l’arrondissement AC.....	78

## Liste des sigles et abréviations

### Abréviations en français

IV	Infrastructure verte
OAP	Outil d'aide à la planification

### Abréviations en anglais

GIS	Geographical information system
MCDA	Multicriteria decision analysis
PSS	Planning support system
UGI	Urban green infrastructure
UHI	Urban heat island

## Remerciements

Je souhaite en tout premier lieu remercier mes directrices de recherche, Danielle Dagenais et Françoise Bichai, d'une part pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet passionnant et d'autre part pour m'avoir guidé tout au long de l'aventure qu'est la réalisation d'un premier projet de recherche. Je vous remercie pour vos conseils, votre écoute et vos commentaires qui ont su stimuler la curiosité et la réflexivité en moi. Merci de m'avoir poussé plus loin.

Je remercie également tous les membres de l'équipe du projet PIIVO, et un merci spécial à Sandrine Lacroix, Justine Petrucci et Garance Gougeon que j'ai eu le plaisir de côtoyer à presque tous les jours. Merci pour les bons moments passés à travailler dans les cafés et les bibliothèques de Montréal.

Merci au ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie d'avoir financé le projet PIIVO.

Je souhaite également remercier les nombreux partenaires, experts et participants aux activités de recherche du projet PIIVO. Merci de vous être prêtés au jeu, d'avoir fait don de votre temps, d'avoir supporté ce projet de recherche et de travailler pour des villes québécoises plus vertes.

Merci aux différents professeurs de la Faculté de l'Aménagement avec qui j'ai eu l'occasion d'échanger durant les dernières années.

Finalement, ce projet n'aurait pas été possible sans le support de mes proches et de ma famille qui, même s'ils ne comprenaient pas de quoi je parlais, hochaient la tête lorsque je déblatérais longuement sur mon projet de recherche.



# 1 Introduction

## 1.1 Mise en Contexte

L'urbanisation cause un ensemble de problèmes qui influencent la qualité de vie des populations urbaines tels que l'apparition d'îlots de chaleur, la diminution de la biodiversité urbaine et plusieurs effets négatifs sur la santé des personnes (Chapman et al., 2017; Elmqvist et al., 2013; Moore et al., 2003; Turner et al., 2004). Parallèlement, les changements climatiques causent la hausse des températures moyennes annuelles, l'augmentation des précipitations moyennes annuelles et augmentent la fréquence des événements extrêmes (IPCC, 2014). Les impacts des changements climatiques entraînent également dans leur foulée plusieurs changements sociaux et économiques qui sont exacerbés dans les milieux de vie urbains (Gasper et al., 2011; Hunt et Watkiss, 2011; R.L Wilby, 2007). En outre, ces changements se manifestent par l'intensification des impacts de l'urbanisation sur les îlots de chaleur, la qualité de l'air et de l'eau et de la diminution accélérée de la biodiversité urbaine (Hunt et Watkiss, 2011; Robert L. Wilby et Perry, 2006). Par conséquent, l'urbanisation et les changements climatiques ont des effets complémentaires qui représentent d'importants enjeux pour les villes actuelles.

Plus localement, le Québec fait face à une augmentation des épisodes de précipitation extrêmes (Mailhot et al., 2012) et une augmentation de la température de l'ordre de 2 à 4 °C d'ici 2070 (Côté et al., 2015). Ces changements aux conditions climatiques du Québec se traduisent, d'une part, en une augmentation de la vulnérabilité des cours d'eau aux épisodes d'inondation (Leveque et al., 2021; L. Roy et al., 2001) et un accroissement du nombre de surverses d'égouts et d'inondations urbaines (Fortier et Mailhot, 2015). Qui plus est, les épisodes de débordement des cours d'eau comme ceux du printemps 2019 dans le sud du Québec coûtent cher à l'État et aux municipalités qui doivent mettre en place des programmes d'aide et réparer ou remplacer les infrastructures endommagées. Selon Leveque et al. (2021) les changements climatiques au Québec augmentent également la fréquence et la sévérité des épisodes d'étiages des cours d'eau en été, réduisant non seulement la quantité d'eau potable disponible, mais augmentant par le fait même la concentration des polluants dans celle-ci. Ceci s'avère être un risque pour les

municipalités qui puisent leur eau potable dans les lacs et rivières. D'autre part, l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des épisodes de chaleur intense dans les villes québécoises augmente le risque de mortalité des populations urbaines (Doyon et al., 2008). Ces impacts sont d'autant plus sérieux du fait que l'Institut national de santé publique du Québec (2019) estimait en 2016 que 81,12 % de la population du Québec résidait en milieu urbain.

Afin de faire face aux changements climatiques, plusieurs auteurs ont proposé d'adapter les milieux urbains à l'aide d'infrastructures vertes (IV; Demuzere et al., 2014; Gill et al., 2007). Les IV en milieu urbain désignent, de façon large, les réseaux d'éléments planifiés ou naturels du paysage qui contribuent à la gestion durable de l'environnement, tout en améliorant la qualité de vie des habitants (Fletcher et al., 2015). Ces infrastructures peuvent inclure des parcs, des jardins communautaires, des toits végétalisés, des corridors écologiques, des zones humides urbaines, des systèmes de récupération des eaux de pluie, et bien d'autres encore. L'objectif recherché par leur planification et leur implantation dans les milieux urbains est d'intégrer la nature dans l'environnement bâti afin de profiter des services écosystémiques qu'elle génère. Par exemple, dans l'optique de favoriser la biodiversité, de réduire les îlots de chaleur urbains, de gérer les eaux pluviales, de purifier l'air, et de fournir des espaces de loisirs et de détente pour les citoyens (Bolund et Hunhammar, 1999; Demuzere et al., 2014; Gill et al., 2007). C'est pourquoi les IV sont utilisées en parallèle des infrastructures traditionnelles, dites infrastructures grises, afin d'augmenter la résilience de plusieurs systèmes urbains (Dong et al., 2017).

Une catégorie particulière d'IV, les arbres urbains, participe à réduire l'intensité des îlots de chaleur, améliorant le confort thermique, et interceptent l'eau de pluie, réduisant ainsi la charge sur les réseaux d'évacuation des eaux urbaines (Gill et al., 2007). Comme cela est le cas des autres catégories d'IV, les arbres urbains génèrent également une grande variété de bénéfices en surplus de ceux pour lesquels ils ont initialement été plantés et contribuent à améliorer les conditions de vie dans les milieux urbains (Bolund et Hunhammar, 1999; Brzoska et Späge, 2020). D'un point de vue social, les arbres sont également appréciés des citoyens en raison de leur contribution à l'esthétisme du paysage et à l'attachement qu'ils génèrent par rapport à l'espace (Peckham et al., 2013). Ces bénéfices générés en surplus ne sont pas nécessairement pris en compte lors du processus de planification des arbres.

En raison des multiples bénéfices qu'ils produisent, un certain nombre d'études économiques estiment que les arbres urbains génèrent des bénéfices supérieurs à leur coût d'implantation et d'entretien (Millward et Sabir, 2011; Pothier et Millward, 2013). Cette évaluation pécuniaire des services écologiques rendus par les arbres urbains en permet une meilleure prise en compte dans les politiques publiques (Chen et Jim, 2008). Les municipalités ont donc tout à gagner à planter davantage d'arbres dans les villes et à en faire bénéficier les collectivités.

## **1.2 Problématique**

### **1.2.1 La planification stratégique de la forêt urbaine**

Depuis quelques années déjà, de nombreuses municipalités du Québec se sont engagées dans diverses opérations de plantations d'arbres de grande envergure, se donnant au passage des cibles de recouvrement de la canopée (indice de canopée) ou d'arbres à planter. La Ville de Montréal, à la fin de l'année 2020, a dévoilé son *Plan climat 2020-2030* dont la vingtième action s'intitule « Planter, entretenir et protéger 500 000 arbres en priorité dans les zones vulnérables aux vagues de chaleur » (Ville de Montréal, 2020, p. 71). Ce plan suivait chronologiquement le *Plan d'action canopée* pour la période 2012-2021, qui lui-même prévoyait la plantation de 300 000 arbres (Ville de Montréal, 2014b). La volonté d'améliorer la forêt urbaine est également présente à la Ville de Québec, qui a adopté sa *Vision de l'arbre 2015-2025* (Ville de Québec, 2016) pour guider l'augmentation de l'indice de canopée sur son territoire. Cet engouement pour la plantation massive atteint également le gouvernement fédéral qui, en 2021, s'engageait dans un programme de plantation, visant entre autres les milieux urbains, ayant pour objectif la plantation de 2 milliards d'arbres sur un horizon de 10 ans (Gouvernement du Canada, 2021).

Le discours entourant l'augmentation du nombre d'arbres dans les milieux urbains est fortement motivé par leur capacité à produire de multiples bénéfices pour améliorer la qualité de vie des populations urbaines (Bush et Hes, 2018; Herzele, 2014). Toutefois, selon plusieurs auteurs, les institutions ne tiennent pas suffisamment compte des multiples bénéfices produits par les arbres dans leur planification. C'est ce que soulignent Ordóñez et Duinker (2013) après avoir examiné une dizaine de plans de gestion de la forêt urbaine adoptés par des municipalités canadiennes.

Leurs conclusions indiquent que ces plans se concentrent principalement sur les aspects techniques et écologiques de la plantation d'arbres, accordant moins d'attention aux bénéfices sociaux de la foresterie urbaine. Une étude plus récente de Hoover et al. (2023) arrive à une conclusion similaire en analysant 120 plans adoptés par des villes étatsuniennes, soit que ces villes justifient la localisation de leurs espaces verts, notamment des arbres urbains, à l'aide du discours sur la multifonctionnalité, mais n'utilisent pas d'indicateurs qui permettent de la mettre en œuvre.

Qui plus est, la plantation d'arbres en milieu urbain implique des compromis entre des priorités conflictuelles qui peuvent influencer leur capacité à engendrer les bénéfices pour lesquels ils sont initialement prévus (Bodnaruk et al., 2017; Nyelele et Kroll, 2021). Ainsi, la planification de la plantation des arbres s'avère être une tâche qui révèle toute sa complexité en raison du manque de consensus entre les parties prenantes impliquées, du manque d'approche standardisée et de la nature multidisciplinaire de leur planification (Hagemann et al., 2020; Ordonez et al., 2019).

La littérature scientifique sur la planification des IV propose des avenues utiles afin de tirer le maximum de bénéfices des arbres urbains. Cette littérature recommande de déterminer les sites d'implantation, en suivant une planification stratégique qui considère un large éventail de facteurs biophysiques et sociaux (Kuller et al., 2017; Meerow et Newell, 2017). Dans les faits, les arbres, même lorsque leur plantation intervient dans le cadre de larges campagnes de plantation, sont généralement plantés en réponse à des considérations opportunistes plutôt que stratégiques (Davies et al., 2017; Kremer et al., 2016; Pincetl, 2010). Garrison (2019) souligne que la plantation d'arbres dans le cadre d'une vaste opération de plantation à New York de 2007 à 2015 s'est soldée par un échec à réduire la répartition injuste des arbres en raison de l'approche opportuniste employée pour sélectionner les sites de plantation. Ainsi, l'approche opportuniste peut nuire à l'atteinte des cibles que se donnent les municipalités, voire entraîner des effets négatifs sur la qualité de vie des communautés locales comme l'éco-embourgeoisement (Anguelovski, 2016; Kremer et al., 2016).

Par conséquent, considérer un plus grand nombre de critères de planification devrait permettre de mettre en œuvre une planification stratégique des arbres urbains, d'en retirer les bénéfices

nécessaires pour les communautés locales et d'atteindre les cibles d'adaptation climatique des municipalités.

### **1.2.2 Les outils d'aide à la planification pour mettre en œuvre une planification stratégique de la forêt urbaine**

L'hétérogénéité du milieu urbain rend difficile la prise en compte d'un nombre important d'objectifs pour la planification stratégique des arbres (Grove et al., 2006; Pauleit et Duhme, 2000). Or, certains outils numériques permettent d'alléger la charge mentale placée sur les épaules du planificateur qui doit considérer de façon systématique un large éventail d'objectifs de planification (Jelokhani-Niaraki, 2021). Qui plus est, une étude récente auprès des gestionnaires canadiens de la forêt urbaine met en lumière leur souhait d'appuyer leurs décisions à l'aide d'outils numériques (Wirtz et al., 2021).

Les outils d'aide à la planification (OAP), sont une catégorie d'outils numériques d'analyse spatiale qui appuient le planificateur durant les étapes de collecte, d'analyse et de visualisation de diverses données (Geertman et Stillwell, 2004). Ces outils permettent notamment de faciliter de la planification stratégique (Tsotsolas et Alexopoulos, 2018). L'utilisation de ces outils est aussi associée à une augmentation de la validité interne des plans (Pelzer et al., 2014). Le concept de validité interne en planification, proposé par Lewis D. Hopkins (2001), fait référence à la capacité d'un plan de se donner les moyens d'atteindre ses propres objectifs. Ainsi, l'utilisation d'un OAP devrait permettre aux municipalités d'atteindre leurs objectifs d'adaptation climatique par le biais d'une planification stratégique. De ce fait, selon plusieurs auteurs, l'utilisation d'OAP se présente comme une opportunité pour faciliter la planification stratégique des forêts urbaines (p. ex. Bodnaruk et al., 2017; D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013; Nyelele et Kroll, 2021; Sousa-Silva et al., 2021; Wilson et Lindsey, 2009).

Or, les outils développés dans ces études se sont principalement concentrés sur les méthodes de développement sans se questionner sur la capacité réelle des outils à proposer des sites qui diffèrent des sites de plantation traditionnellement proposés par les planificateurs. Bien qu'il soit logique que ces outils, qui se basent sur plusieurs critères, proposent des sites de plantation qui diffèrent de ceux normalement considérés par les municipalités, il convient d'examiner les raisons

pour lesquelles ces sites diffèrent. Cet examen permet d'améliorer les outils et informe des bénéfices réels de son utilisation.

### **1.3 Question et objectifs de recherche**

La problématique permet de formuler l'hypothèse que l'utilisation d'un OAP permet de mettre en œuvre une planification stratégique des sites de plantation des arbres urbains qui diffère de la planification traditionnellement réalisée par les municipalités et les villes. Ainsi, développer et tester un OAP permettant de mettre en œuvre une planification stratégique de ces sites par leur priorisation spatiale pourrait faciliter l'atteinte des cibles de plantation que les municipalités québécoises se donnent pour améliorer leur adaptation aux changements climatiques. Par conséquent, ce projet de recherche explore la question suivante : est-ce que l'utilisation d'un OAP permet de prioriser des sites de plantation qui diffèrent de ceux qui sont traditionnellement priorisés par les municipalités et, le cas échéant, quels facteurs causent ces différences? Les objectifs issus de cette question de recherche sont les suivants :

1. Développer un modèle de priorisation à implanter dans un OAP permettant de déterminer spatialement les emplacements stratégiques pour l'implantation d'arbres urbains.
2. Analyser les plans de plantation de trois arrondissements de la ville pour relever les objectifs de planification et les critères qu'elle utilise pour planifier l'emplacement de ses nouveaux arbres.
3. Comparer les sites priorisés par le modèle de priorisation et les sites priorisés par les plans de plantation afin de comparer les éléments de convergence et de divergence entre les deux approches.

La pertinence scientifique de ce projet réside dans la comparaison de l'approche stratégique et de l'approche traditionnelle de planification des arbres urbains. Peu d'études ont tenté de comparer la priorisation spatiale résultante de l'utilisation d'un OAP à la priorisation réalisée par une institution municipale et d'expliquer les facteurs de divergence entre les deux. Ce projet de recherche a comme retombée sociale de mettre à la disposition des municipalités québécoises et des parties prenantes de la gestion de la forêt urbaine un OAP pour la planification stratégique de la plantation des arbres urbains.

## 1.4 Plan du mémoire

Comme vu précédemment, le premier chapitre de ce mémoire présente le contexte général de la recherche. Il explique également la problématique spécifique que le projet de recherche vise à résoudre.

Le deuxième chapitre de ce mémoire utilise les théories de la planification afin de justifier le développement d'un OAP pour répondre aux problèmes complexes du milieu urbain, plus précisément à la planification de la forêt urbaine. Ce chapitre survole certains courants majeurs des théories de la planification permet de mieux comprendre d'où proviennent ces outils et quels sont les avantages et les lacunes que la littérature attribue à leur utilisation.

Le troisième chapitre de ce mémoire est présenté sous la forme d'un article scientifique en anglais et couvre le corps du mémoire. L'article présenté dans ce mémoire a été préparé dans le cadre du projet PIIVO (Planification Intégrée des Infrastructures Vertes en Innovation Ouverte), dirigé par Françoise Bichai. Les coauteurs de l'article, Martijn Kuller et Danielle Dagenais, sont également des chercheurs impliqués dans le projet, tout comme Sandrine Lacroix, étudiante au doctorat. L'ensemble du cadre théorique, des résultats et des analyses présentés dans l'article sont le fruit de mes travaux inédits. Les coauteurs ont soutenu la rédaction de l'article en participant à des réunions de discussion, en relisant et en commentant le manuscrit. De plus, Sandrine Lacroix a contribué à l'organisation des ateliers décrits dans la section méthodologique. L'article présente une revue de la littérature, la méthodologie employée, les résultats et la discussion.

Le quatrième chapitre est une discussion conclusive portant sur de résultats n'ayant pas pu être traités dans l'article et sur les apprentissages de ce projet en termes d'urbanisme.

## 2 Replacer les outils d'aide à la planification parmi les théories de la planification

Afin de mieux contextualiser les OAP dans le processus de planification contemporain, ce chapitre les situe parmi les théories de la planification et justifie le choix d'utiliser un OAP afin d'améliorer la planification des arbres en milieu urbain. Les principaux courants et les débats qui ont contribué aux fondements théoriques de ces outils dans le domaine de la planification sont présentés. Débutant par la planification rationnelle globale, sont ensuite exposées certaines de ses critiques en se concentrant sur des textes phares des théories de la planification. Sont donc présentés (Figure 1) l'incrémentalisme de Charles E. Lindblom (1959), l'*advocacy planning* de Paul Davidoff (1965) et les problèmes perniciose de Rittel et Webber (1973). La présentation des débats entourant la planification rationnelle est conclue par un exposé sur les rationalités alternatives mettant l'accent sur la rationalité communicative (Healey, 1992). Geertman (2006) procède à un exercice similaire où il soulève les différents apports des théories de la planification à la conception des OAP. Ces théories s'appliquent également bien aux enjeux entourant la planification de la forêt urbaine, laquelle s'inscrit dans la complexité du milieu urbain, ses

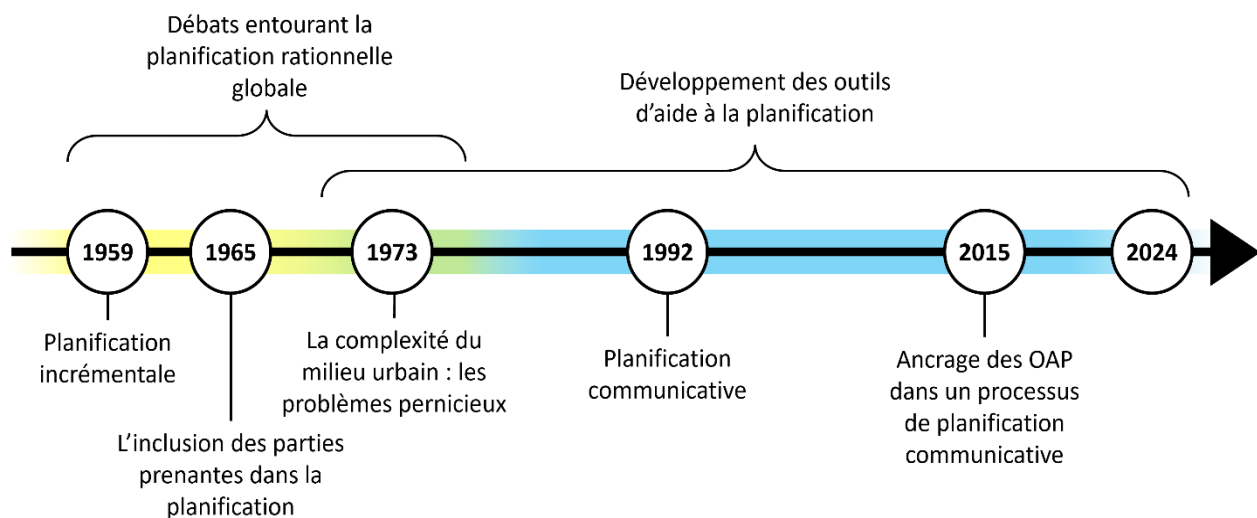


Figure 1 – Ligne du temps replaçant les différents textes présentés ainsi que leur principale contribution.

caractéristiques sociales et physiques, et justifient l'utilisation de ces outils pour en faire la planification (Grove et al., 2006; Pauleit et Duhme, 2000; van Wassenauer et al., 2000).

## **2.1 De la planification rationnelle globale**

Dans les années 50 et 60, deux courants similaires de la planification émergent en Amérique du Nord. Ces courants considèrent la planification comme un processus scientifique et se veulent une réponse aux critiques de la planification d'après-guerre (Hall, 1983; Taylor, 1998, chap. 3), dont la plus cinglante était le manque total d'une véritable compréhension des systèmes urbains (p. ex. Alexander, 1967; Jacobs, 1961). Selon Taylor (1998, chap. 4), le premier est une vision de la planification systémique. C'est-à-dire que la ville est abordée comme un système complexe lui-même composé de systèmes complexes. Le deuxième conçoit plutôt la planification comme un processus de prise de décision fondé dans le paradigme de la rationalité. Ces idées ne sont toutefois pas nouvelles; elles se développent dans d'autres disciplines durant les décennies 40 et 50 avant de migrer vers les sciences de la planification (Taylor, 1998, chap. 4).

En conceptualisant la ville comme un ensemble de systèmes, un constat s'impose : il est nécessaire de comprendre les systèmes qui composent la ville afin d'en faire le contrôle (McLoughlin, 1969, chap. 4). Pour les théoriciens de la planification systémique, le vocable « système » désigne un ensemble dont les parties possèdent un lien de parenté quelconque (C. Alexander, 1967; Taylor, 1998). Le système est non seulement composé de ses parties individuelles, mais également de l'interrelation de ses parties entre elles (Friedmann, 1965). Ce modèle systémique est reflété dans la métaphore de la ville dont les systèmes sont analogues aux systèmes du corps humain. Cette première alternative à la planification physique et esthétique de la ville ajoute à ses outils les avancements dans les domaines de l'*Operational Research* et le *System Analysis* pour répondre à la critique du manque de scientificité au sein de la pratique (Taylor, 1998, chap. 4). Dès lors, la planification devient une science d'analyse et de contrôle (Taylor, 1998, chap. 4). Par extension, planifier la ville devient un projet éternellement inachevé, en transformation constante, et exige des planificateurs qu'ils abordent les sphères sociales et économiques de l'objet urbain (Camhis, 1979, chap. 1; Taylor, 1998, chap. 4).

En second lieu, en conceptualisant la planification comme un processus de décision rationnel, le planificateur s'éloigne de la composante uniquement physico-spatiale et de l'aménagement des milieux urbains pour s'intéresser aux méthodes qui sous-tendent la prise de décision. La rationalité à l'intérieur de la planification agit comme concept clé permettant de justifier les interventions (Camhis, 1979, chap. 1). Ce modèle de planification rationnel développe un processus décisionnel itératif dans lequel sont définis, en ordre, un problème et des objectifs d'aménagement, des solutions alternatives et des critères d'évaluation des solutions proposées permettant de sélectionner l'alternative répondant le plus efficacement au problème soulevé, des méthodes de mise en œuvre et des méthodes de suivi des interventions (Hall, 1983; Lane, 2005; Taylor, 1998, chap. 4). Parmi différentes interventions alternatives générées, dont l'efficacité à répondre à la problématique était jugée par les critères d'évaluation élaborés, le planificateur choisissait, à l'aide d'un modèle mathématique, l'intervention qui optimisait théoriquement les bénéfices (Camhis, 1979, chap. 1; Hudson et al., 1979). On y parle par conséquent de rationalité instrumentale : la capacité à répondre à un problème donné en maximisant les bénéfices tout en limitant les coûts (E. R. Alexander, 2000; Etzioni, 1968, chap. 11). Le modèle rationnel a été utilisé d'une façon apolitique et technocratique afin de traiter, en prétendue neutralité, des problématiques sociotechniques (Taylor, 1998, chap. 5). Par conséquent, les alternatives proposées par le modèle rationnel ne répondaient pas nécessairement aux enjeux des populations présentes dans la zone d'intervention.

Ces visions de la planification diffèrent considérablement de ses conceptions antérieures, lesquelles étaient principalement axées sur les éléments de design urbain et d'esthétisme (Friedmann, 1965). Pourtant, ces deux théories poursuivent des fins qui sont l'héritage de la planification depuis sa genèse : l'atteinte du bien commun. C'est pour cette raison que Camhis (1979, chap. 1) prétend que ce changement de paradigme est une continuation du courant utopiste du 19<sup>e</sup> siècle, basé dans la croyance aveugle du pouvoir transformateur des sciences et du capitalisme.

La capacité analytique des OAP est bien ancrée dans ce courant de la planification. Notamment, leur capacité à générer des alternatives selon une compréhension globale d'une problématique appuyée par de grandes quantités de données s'inscrit directement dans la logique

d'optimisation de la planification rationnelle globale. Il existe d'ailleurs une ressemblance frappante entre la méthode itérative utilisée par les adeptes de l'approche rationnelle, qui élaborent des objectifs de planification servant à étudier différentes alternatives pour en ressortir les plus performantes, et l'approche par OAP, qui se base également sur de multiples critères, ou objectifs, pour évaluer la performance des aménagements proposés.

## **2.2 Les critiques de la planification rationnelle et la naissance de la planification collaborative**

Les décennies 60 et 70 donnent naissance à un foisonnement de critiques et de théories alternatives au modèle rationnel en raison des définitions multiples et conflictuelles de la rationalité qui empêchent le modèle de remplir les hautes attentes que les planificateurs avaient pour lui (Camhis, 1979, chap. 1). La présente sous-section survole trois courants de pensée dont deux ont proposé des modèles alternatifs.

### **2.2.1 L'incrémentalisme**

Plusieurs auteurs critiquent les limites du modèle de la planification rationnelle en raison de la quantité d'information, du temps et des ressources à y investir, de la capacité limitée des humains à conceptualiser des situations hautement complexes et des préférences parfois en opposition des parties prenantes, qui rendent difficile la tâche de déterminer des objectifs faisant consensus (Friedmann, 1971; Friedmann et Hudson, 1974; Lindblom, 1959). Ils exposent une méthode alternative à la décision qu'il décrit comme la méthode la plus utilisée par les administrateurs publics malgré leur prétention à la méthode rationnelle : l'incrémentalisme (Camhis, 1979, chap. 2; Lindblom, 1959). Cette méthode se base plutôt sur la comparaison successive et partielle de politiques alternatives (Camhis, 1979, chap. 2; Lindblom, 1959). Par conséquent, les différentes politiques publiques considérées sont celles qui ne divergent que marginalement entre elles et par rapport aux politiques en place; les politiques qui s'écartent trop des politiques en place sont ignorées. Les administrateurs publics qui utilisent le modèle de l'incrémentalisme n'ont d'ailleurs pas à s'entendre avec les parties prenantes sur les objectifs et valeurs qui sous-tendent les politiques publiques : le choix même de la politique publique préférentielle est une expression

des valeurs et des objectifs des groupes (Etzioni, 1968, chap. 11; Lindblom, 1959). Par cette différence, les parties prenantes n'ont pas à expliciter formellement leurs valeurs et leurs objectifs et cela permet la coexistence de valeurs et d'objectifs conflictuels non formalisés à l'intérieur d'une politique publique. Le modèle de l'incrémentalisme conceptualise également l'administration publique comme un processus itératif à l'intérieur duquel les politiques publiques sont formulées par une suite d'interventions mineures qui, par accumulation, permettent une transformation significative par rapport à la situation de départ (Lindblom, 1959). Le modèle apporte également un élément de sécurité contre les effets négatifs imprévus de certaines interventions. Il sera plus facile pour l'administrateur public de rectifier un petit événement imprévu résultant d'une modification mineure aux politiques publiques que d'un événement imprévu résultant d'une refonte complète des politiques publiques (Lindblom, 1959). Le modèle basé sur l'incrémentalisme sera également l'objet de deux principales critiques : la sous-représentation des parties prenantes de faible influence, couplée à la surreprésentation des parties prenantes de forte influence, et le frein à l'innovation causé par la recherche de la sécurité et le rejet du risque du mode de décision incrémental (Etzioni, 1968, chap. 11).

### ***2.2.2 L'advocacy planning et les parties prenantes***

Paul Davidoff, dans son article intitulé « Advocacy and Pluralism in Planning » de 1965, produit également une critique intéressante de la planification rationnelle globale et de l'incrémentalisme tout en proposant un modèle alternatif. À l'inverse de la planification rationnelle, Davidoff (1965) replace les considérations politiques au centre de la planification en rupture avec l'idéal de l'objectivité rationnelle. La planification y est plutôt présentée comme un processus politique et participatif qui requiert l'inclusion des parties prenantes présentes sur le territoire. Pour inclure les parties prenantes, Davidoff (1965) décentralise le rôle du planificateur. C'est-à-dire que le planificateur devient, à la façon d'un avocat, défenseur des valeurs d'un groupe donné, le plus souvent proche de ses propres valeurs. Ainsi, les différentes alternatives débattues sur la scène publique sont les plans préparés par et pour ces groupes, mettant en jeu leurs valeurs respectives. Le modèle que propose Davidoff (1965) ouvre la porte à une prise en compte accrue des parties prenantes dans la prise de décision en aménagement.

Hormis cette idée centrale, l'*advocacy planning* introduit également l'idée de l'élaboration de plans singuliers à chaque groupe de parties prenantes comme outils de discussion. C'est-à-dire que chaque groupe prenant part au processus de planification produit son propre plan, répondant à ses besoins (Davidoff, 1965). Puis par un processus de comparaison et de négociation, un plan final, combinant certains éléments de ces multiples plans, est produit en réponse.

### **2.2.3 Les problèmes pernicioeux (*Wicked problems*)**

Rittel et Webber (1973), à partir du constat d'un mécontentement grandissant de la population envers les professionnels de la planification, se penchent sur la façon dont les problèmes de planifications sont définis. Les auteurs contrastent deux méthodes de définition des problèmes. La première est linéaire et s'applique aux problèmes d'efficacité des systèmes, soit la façon la plus efficace de régler un problème au moindre coût. La deuxième est non linéaire et s'applique aux problèmes pernicioeux (*wicked problems*) difficilement définis. Ils se caractérisent par une interdépendance de nombreux facteurs, une absence de solution unique ou définitive, et des solutions souvent partielles et non vérifiables (Head, 2023). Le contexte de ces problèmes évolue constamment, ce qui rend certaines solutions obsolètes au fil du temps (Head, 2023). De plus, les ressources pour les traiter sont limitées (Head, 2023). En raison de ces caractéristiques, les problèmes pernicioeux nécessitent une approche multidisciplinaire, une collaboration entre diverses parties prenantes, et une stratégie globale et adaptative pour progresser vers des solutions viables (Weber et al., 2017). Cette catégorie de problème englobe une majorité des problèmes de planification. Essentiellement, ils estiment que l'approche rationnelle n'offre pas la capacité d'analyser les problèmes pernicioeux que sont les problèmes de planification (Rittel et Webber, 1973).

Ritter et Weber (1973) ressortent dix caractéristiques de ces problèmes qui les rendent incompatibles avec le modèle rationnel : (i) Les problèmes pernicioeux sont définis comme étant des problèmes ouverts et à formulations multiples. Là repose la difficulté, puisque pour bien formuler un problème pernicioeux, il faut connaître tous les problèmes qui le composent, cependant chaque tentative pour définir le problème ouvre sur une nouvelle question. (ii) Il n'existe, par conséquent, pas de fin aux éléments à prendre en compte dans un problème

pernicieux. C'est-à-dire que de nouveaux critères peuvent constamment être ajoutés afin d'améliorer la compréhension du problème, même marginalement. (iii) Qui plus est, les solutions proposées aux problèmes pernicieux sont jugées selon les préférences des parties prenantes qui les apprécient selon les objectifs et les valeurs qui leur sont propres. Par conséquent, il n'existe pas une solution qui puisse satisfaire toutes les parties prenantes. (iv) Ces solutions génèrent également des changements sur des systèmes non définis : les personnes touchées, l'étendue temporelle de l'intervention, les boucles de rétroactions possibles. Par conséquent, il est impossible de prédire l'effet de ces solutions dans leur entièreté et elles contiennent inévitablement des variables non contrôlées. (v) Les solutions aux problèmes pernicieux entraînent des conséquences réelles et significatives et sur la vie des personnes, il n'est donc pas possible pour le planificateur d'avancer à tâtons par essai-erreur. (vi) Il n'existe également pas un nombre défini de solutions à un problème pernicieux. Il peut n'avoir aucune solution comme il peut en avoir une infinité. (vii) Chaque problème pernicieux est unique en son genre. Malgré certaines ressemblances, il serait vain d'appliquer unilatéralement une solution qui fonctionne dans un autre contexte. (viii) Également, les problèmes pernicieux se retrouvent à être un symptôme d'un autre problème, lui-même pernicieux, ce qui les rend difficiles à traiter par actions incrémentales. (ix) De plus, face à un problème pernicieux, il existe plusieurs façons d'expliquer l'écart entre l'état actuel de la société et l'état souhaité et (x) le planificateur n'a pas le droit à l'erreur lorsqu'il intervient sur ce problème (Rittel et Webber, 1973).

La complexité de l'intervention sur le milieu urbain fait d'ailleurs partie intégrante des questions environnementales. En raison de l'interaction des composantes techniques et sociales qui influencent leur planification, de nombreux auteurs ont caractérisé la planification de la forêt urbaine et des infrastructures vertes en contexte de changement climatique comme des problèmes pernicieux (Fryd et al., 2010; Hagemann et al., 2020). Plus précisément, les caractéristiques du cadre bâti, des politiques urbanistiques et des populations locales peuvent influencer la capacité des arbres à générer des bénéfices (Cimburova et Berghauer Pont, 2021). De plus, les arbres urbains sont une ressource partagée entre plusieurs acteurs, ce qui implique que ces acteurs influencent le succès des interventions sur la forêt urbaine (Battaglia et al., 2014). Différentes populations locales accordent différents niveaux d'importance aux différents

bénéfiques qui sont générés par les arbres. Ces préférences peuvent être contradictoires sur un même territoire, ce qui oblige les planificateurs à faire des compromis pour la plantation de nouveaux arbres. Par exemple, il peut être plus simple de planter des arbres sur des terrains faiblement minéralisés, au détriment de la réduction des îlots de chaleur. Ceci désavantage certaines populations, notamment les populations vulnérables qui vivent dans des milieux fortement urbanisés, où peu d'espaces plantables sont facilement disponibles (Zhou et al., 2021). Ces multiples facettes de la planification de la forêt urbaine lui confèrent des caractéristiques similaires à un problème pernicieux.

Finalement, le concept de problème pernicieux de Rittel et Webber (1973) amène plusieurs auteurs à explorer la participation accrue des parties prenantes aux processus de planification comme façon d'améliorer les solutions proposées (Elia et Margherita, 2018; Head, 2019; Head et Alford, 2015; Innes et Booher, 2016; Ritchey, 2013).

### **2.3 De la planification autrement rationnelle**

La remise en question de la capacité du modèle rationnel à prévoir logiquement les impacts futurs des interventions du planificateur donne naissance à un ensemble de théories participatives (Després et al., 2011; Hall, 1983; Lane, 2005). Ces théories rejettent essentiellement la présupposition de valeurs et besoins homogènes chez les parties prenantes et proposent qu'ils soient élicités à l'aide de différentes méthodes de participation (Lane, 2005).

Selon Alexander (2000), il n'est pas impossible de recadrer la planification rationnelle dans un processus participatif. Cet auteur avance l'argument qu'il existe plusieurs types de rationalité et par conséquent plusieurs types de planifications rationnelles. La planification rationnelle telle qu'elle a été présentée jusqu'à présent se base sur la rationalité instrumentale, c'est-à-dire l'optimisation technique des méthodes pour atteindre un objectif (Alexander, 2000). Alexander (2000) pose l'argument selon lequel la planification rationnelle pourrait s'articuler autour de la rationalité communicative, un concept élaboré par le philosophe allemand Jürgen Habermas (Friedmann, 1998; Innes et Booher, 2016, 2018, chap. 2). Cette rationalité est le processus par lequel les parties prenantes délibèrent sur un pied d'égalité dans des conditions de communication théoriquement idéales (Innes, 1996; Innes et Booher, 2016). Par conséquent, à

l'intérieur d'un paradigme communicatif rationnel, l'enjeu du planificateur est d'assurer que les discussions à l'intérieur du processus d'élaboration d'un plan soient de la plus haute qualité. Cela suppose également que l'élément qui confère le pouvoir d'influence à l'intérieur de processus de planification est l'information et, dans des conditions de communication non idéales, son asymétrie (Forester, 1982). Pour atteindre cet idéal de communication, les participants doivent reconnaître que les connaissances sont le produit d'interactions sociales, qu'il existe une multitude de formes de communications, que les personnes et les groupes forment leurs préférences par l'entremise de successions d'interactions sociales et que les relations de pouvoirs influencent la façon dont les personnes et les groupes interagissent (Forester, 1980; Healey, 2006). Par conséquent, la planification communicative permet de transposer le processus de négociation d'un paradigme compétitif vers un paradigme de co-construction et de collaboration (Healey, 2006).

L'usage de la rationalité communicative plutôt que de la rationalité instrumentale permet également de faire une meilleure gestion des problèmes perniciox de planification par l'apprentissage des individus et des groupes prenant part à l'exercice (Elia et Margherita, 2018; Innes et Booher, 2016).

Malgré les promesses de la rationalité communicative de parvenir à une meilleure gestion des problèmes de planification et malgré sa popularité croissante (Margerum, 2016) plusieurs auteurs ont émis des réserves par rapport à sa capacité réelle de mise en oeuvre (Innes et Booher, 2018, chap. 2). Fainstein (2005) et Feldman (1997) critiquent le manque de réalisme des conditions idéales de communication, notamment en raison de l'abstraction des structures formalisées de pouvoir dans la société qui est faite par cet idéal. Laclau et Mouffe (2001) argumentent également que les conflits sont inhérents à la construction démocratique et qu'il n'y a pas de garantie que les décisions prises par consensus sont plus égalitaires. Westin (2022) et Hartmann et Geertman (2016) présentent un récapitulatif nuancé des critiques à l'endroit de la planification communicative, tout en soulignant certaines lacunes de la théorie, mettant en lumière les débats qui entourent toujours les théories de la planification à ce jour.

## 2.4 Planifier les arbres en milieu urbain à l'intérieur d'un processus communicatif : L'apport des outils d'aide à la planification

Où se placent les OAP parmi ces théories de la planification et comment permettent-ils de prendre en charge les problèmes de nature complexe qui sont inhérents à la planification? Notamment, en quoi est-il pertinent d'utiliser un OAP afin de mieux planifier les arbres en milieu urbain au Québec?

De nombreux auteurs ont émis la critique que les OAP sont d'abord et avant tout enracinés dans une rationalité instrumentale, ce qui les rend efficaces pour résoudre des problèmes bien définis, mais limite leur capacité à gérer des problèmes pernicioeux de planification (Mackenzie et al., 2006).

Plus récemment, certains auteurs, spécialisés dans la recherche fondamentale dans le domaine des OAP ont cherché à ancrer les OAP à l'intérieur d'un processus communicatif par la participation accrue des parties prenantes au développement et à l'utilisation de ces outils. Ces auteurs utilisent le mot *planification* de l'expression Outil d'aide à la planification pour faire un lien explicite avec le courant communicatif en planification (Lin et Geertman, 2015). Ces auteurs posent l'hypothèse qu'en ouvrant le processus de décision aux parties prenantes, l'outil d'aide à la décision devient un OAP, puisqu'il s'inscrit dans un processus politique. Lin et Geertman (2015) et Mackenzie et al. (2006) ont émis l'hypothèse selon laquelle l'OAP, à titre de technologie d'information et de communication, permet au planificateur de récolter l'opinion d'une multitude de parties prenantes en leur fournissant une base commune sur laquelle s'exprimer (Lin et Geertman, 2015). Par conséquent, l'OAP peut servir à faciliter un processus de planification communicative (Lin et Geertman, 2015). La capacité de ces outils à structurer les débats et les communications est bien expliquée par cet extrait :

MCDAs [Multicriteria decision analysis] is capable of simultaneously embracing, combining, and structuring often incommensurable diversity: diversity of information (such as different types of data, e.g., qualitative and quantitative data, as well as uncertainty), diversity of opinion (also among experts), diversity in actor perspectives (stakes), and diversity in assessment/decision-making criteria. By incommensurability we mean that these aspects do not share likewise measures that make comparison easy. Moreover, as MCDAs structure this diversity of information, it is helpful to

support deliberation. MCDA helps to pave the way to decision making and communication about the decisions taken, including the argumentations on which the decision was based, particularly by referring to the assessment criteria and different viewpoints of a diversity of actors involved. (Keune et Dendoncker, 2013, p. 174)

Toutefois, le taux d'utilisation de ces OAP demeure faible malgré leur nombre croissant (Geertman, 2017; Geertman et Stillwell, 2020). Plusieurs auteurs ont avancé des explications à ce phénomène (nommé *Implementation gap*) tel que Vonk et al. (2005). Ces derniers ont proposé 24 facteurs influençant l'adoption de ces outils par les planificateurs classifiés selon les caractéristiques de l'organisation développant l'outil, de l'organisation d'adoption et de l'outil lui-même. Historiquement, la quantité de données nécessaire pour mettre en œuvre et leur fonctionnement en boîte noire ont limité, voire inhibé le développement et la recherche dans le domaine des OAP (Klosterman, 1997; Lee Jr., 1973). Ceci a retardé l'appropriation des OAP par les planificateurs (Geertman, 2017).

Du point de vue de la recherche contemporaine sur ces outils, l'évaluation systématique de la capacité de ces outils à améliorer la planification est en plein essor (Flacke et al., 2020; te Brömmelstroet, 2013, 2017). Te Brömmelstroet (2013) et Pelzer (2017) ont élaboré des cadres conceptuels afin d'analyser cette capacité des outils développés. Notamment, on y distingue la valeur ajoutée (*added value*) des outils selon trois niveaux distincts : le niveau (i) individuel, (ii) du groupe et (iii) des résultats de l'outil. Ce type d'analyse est réalisée, entre autres, par Goodspeed (2016) qui étudie la valeur ajoutée de ces outils au niveau individuel et au niveau du groupe en évaluant l'impression des participants ayant pris part à des ateliers de planification utilisant un tel outil. Il conclut que les participants éprouvent un haut degré de satisfaction par rapport à leurs apprentissages et à la qualité des dialogues qu'ils y ont entretenus, des éléments clés de la rationalité communicative. Également, aux Pays-Bas, la disponibilité d'un OAP sur téléphone intelligent a permis de faciliter la mise en place d'un climat de collaboration à l'intérieur de projets de planification en simplifiant le partage d'informations entre les parties prenantes, une valeur ajoutée au niveau du groupe (Lin et Benneker, 2022). Qui plus est, quelques tentatives ont été faites de combiner l'utilisation d'OAP avec des exercices de *pastcasting* et de *backcasting* afin d'explorer davantage le potentiel des différentes alternatives que le modèle propose (Deal et al., 2017).

Le choix de développer un OAP s'est imposé en raison, des caractéristiques que la littérature leur associe. C'est-à-dire, le potentiel d'améliorer la prise en charge des problèmes pernicioseux qui caractérisent les problèmes de planification urbaine. Cela étant facilité par l'inclusion et la représentation d'une multitude de valeurs, la facilitation des discussions et l'amélioration des conditions de communications. Ces caractéristiques des OAP leur permettent de mieux approcher les problèmes pernicioseux des milieux urbains en utilisant à la fois des éléments de la rationalité instrumentale et de la rationalité communicative.

Les OAP peuvent ainsi être perçus comme le résultat de plusieurs théories de la planification. Dans un premier temps, ce qu'on pourrait définir comme son volet d'analyse spatiale s'apparente aux idées issues de la planification rationnelle globale en raison de sa rigueur instrumentale. Toutefois ils répondent à une critique importante de la planification rationnelle globale, soit à la capacité limitée des humains à traiter d'importantes quantités d'information. Dans un deuxième temps, les théories sur l'inclusion des parties prenantes au processus de planification ont également informé la co-construction de ces outils avec le milieu utilisateur et les parties prenantes. Finalement, le volet discussion de l'outil s'apparente plutôt à la planification communicative et, dans une moindre mesure, à l'*advocacy planning* en mettant au point un objet de discussion et de négociation.

Des études empiriques ont notamment observé que l'amélioration de la qualité du transfert de connaissances, comme le permettrait l'utilisation d'un OAP, optimise les processus de planification de la forêt urbaine et qu'il en résulte des retombées plus significatives pour les communautés locales (Janse et Konijnendijk, 2007; Ugolini et al., 2015). Qui plus est, la participation du public permet d'ajuster les stratégies en formulant des politiques publiques qui répondent aux besoins précis des communautés (Van Herzele, 2004). L'utilisation d'un OAP permettrait donc d'une part de faire face à certains aspects de la planification des arbres urbains qui s'apparentent à des problèmes pernicioseux et d'améliorer les retombées positives pour la population urbaine. Qui plus est, embrasser la complexité inhérente à la planification des arbres urbains en considérant plusieurs critères choisis par les parties prenantes dans l'OAP pourrait permettre d'innover en matière de planification des arbres urbains, en proposant des plantations qui optimisent les retombées sur des sites qui ne seraient pas autrement considérés. Or,

l'innovation en matière de planification est un élément crucial pour faire face aux changements climatiques (Brokking et al., 2021; Raymond et al., 2017).

Compte tenu de l'importante quantité de travail que représente la mise en œuvre d'un processus de planification communicative assisté par un OAP, ce mémoire se concentre sur le développement de l'OAP et sa capacité à proposer des sites de plantation qui innovent et qui sortent du cadre habituellement considéré par les planificateurs. Nous nous limitons par conséquent à tester la capacité de cet outil à élargir les considérations de sites possibles pour la plantation future d'arbres en se basant sur les préférences d'un groupe de parties prenantes. L'étape suivante dans le processus de planification serait d'utiliser l'outil comme support à la communication et à la vulgarisation à plus grande échelle afin de permettre à un large éventail de parties prenantes de s'exprimer sur les sites de plantation proposés par l'outil. Cela permettrait aux communautés locales de s'impliquer dans un processus complexe et hermétique et de retirer les bénéfices qu'elles préfèrent des plantations futures.

### 3 Article : Strategic Urban Tree Planning in a Canadian metropolitan city: A Comparative exploration of City-Planned and MCDA-Driven Approaches

Alexandre Rioux<sup>a</sup>, Sandrine Lacroix<sup>b</sup>, Martijn Kuller<sup>c</sup>, Françoise Bichai<sup>b</sup>, Danielle Dagenais<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Faculté de l'Aménagement, École d'urbanisme et d'architecture de paysage, Université de Montréal, 2940, chemin de la Côte-Sainte-Catherine, Montréal, QC, Canada*

<sup>b</sup> *Department of Civil Engineering, Polytechnique Montréal, 2900, boul. Édouard-Montpetit, Montréal, QC, Canada*

<sup>c</sup> *Copernicus Institute of Sustainable Development, Faculty of Geosciences, Utrecht University, Princetonlaan 8a, 3584 CB Utrecht, the Netherlands*

**Keywords:** Green infrastructure, Planning support system (PSS), Spatial suitability analysis, Urban forestry, Urban landscape

#### 3.1 Abstract

In response to the challenges posed by climate change, Canadian cities, including those in Quebec, have committed to ambitious tree planting and canopy cover goals. However, urban tree planning is a multifaceted process, involving various objectives such as reducing heat islands, enhancing public health, and minimizing costs of implementation, amidst the interests of numerous stakeholders. Taking into account these multiple aspects calls for a strategic approach to tree planning.

An urban tree spatial suitability model was developed using geographic information system (GIS) and multicriteria decision analysis (MCDA) to navigate this complexity. This was achieved through a collaborative co-construction process involving a diverse array of local stakeholders from Montreal (Quebec, Canada). While numerous urban tree spatial suitability frameworks exist, few

have tried to investigate how and why their framework allowed to depart from traditional urban forest planning. Using our own urban tree suitability framework, we compared data on planned tree planting sites from three boroughs of Montreal (Quebec, Canada) with the spatial patterns resulting from the strategic planning of urban trees in those same boroughs, facilitated by a planning support system.

The developed spatial suitability framework allowed to discriminate between high and low-suitability areas within the urban environment. The sites with the highest suitability scores were compared against the tree planting sites designated by municipal institutions. This analysis highlighted very few sites overlap between the best sites prioritized by the framework and those prioritized by the boroughs. The comparative analysis highlights that the consideration of multiple objectives within the developed framework prioritizes tree planting sites which had not been considered by the boroughs. This is an opportunity for municipal institutions to consider alternative sites that might otherwise have been overlooked.

## **3.2 Introduction**

Urbanization and climate change are acting in parallel in cities, causing environmental problems that influence the quality of life of urban populations, such as the intensification of urban heat island (UHI) effects, the intensification of urban flooding, the increase of air and water pollution, and the decrease of urban biodiversity (Hunt et Watkiss, 2011). In response, many cities and governments are undertaking extensive tree planting initiatives with the aim of providing local population with tree-generated ecosystem services required for their well-being such as UHI abatement, reduced stormwater runoff, improved air quality, and enhanced human health and well-being (Livesley et al., 2016).

### **3.2.1 Location choice to enable strategic planning of urban trees**

Urban trees are a specific category of urban green infrastructure (UGI) that have a long history with the planning of cities (Konijnendijk et al., 2006). The literature on UGI planning emphasizes the strategic and careful consideration of multiple siting criteria (Kuller et al., 2017; Meerow et Newell, 2017). Authors such as Kenney et al. (2011) also suggest that successful urban forest

resource management should be assessed through the ability of the interventions to generate locally needed services rather than solely through canopy cover increase. For instance, environmental conditions, built environment characteristics, socio-demographic attributes of nearby populations, and governance policies are to be considered (Cimburova et Berghauser Pont, 2021). However, conflict may exist between conditions for the provision of different ecosystem services. For instance, adequate growth conditions are necessary for newly planted trees to generate benefits (Widney et al., 2016) but those conditions might only show up in areas with high canopy cover and low vulnerability to UHI, resulting in less net benefits for the population. In fact, planning UGI within the urban environment sometimes involves trade-offs between conflicting priorities that influence their ability to generate benefits (Campbell, 1996; Ernstson, 2013). These trade-offs happen when planners intentionally or not prioritize provision of a specific single benefit which also leads to poorer provision of other potential benefits (Bodnaruk et al., 2017; Nyelele et Kroll, 2021). In principle, involving stakeholder might be a way to ensure that trade-offs are solved in line with local priorities (King et al., 2015).

### **3.2.2 Leveraging Planning Support Systems for Strategic Planning**

Considering a broad range of criteria to strategically plan UGI and urban trees is an intellectually challenging task for planners, which can be assisted by a variety of tools. Among these, Planning Support Systems (PSS; Tsotsolas and Alexopoulos, 2018) are computer-assisted tools that aid planners and policymakers in the spatial planning process through data collection, analysis and (geo)visualisation (Geertman et Stillwell, 2004). PSS can be based on multicriteria decision analysis (MCDA) combined with geographic information system (GIS) which allows for spatial suitability analysis incorporating both physical and social characteristics of the urban environment (Malczewski, 2006). Furthermore, these tools facilitate strategic planning by consolidating a significant amount of information that surpasses the analytical capacity of the human brain (Jelokhani-Niaraki, 2021). Importantly, PSSs enhance the quality of outcomes by providing more accurate, systematic and comprehensive information (Pelzer et al., 2014; te Brömmelstroet, 2017). Because of their ability to include stakeholder's preferences, PSS are useful to enable strategic planning (Banville et al., 1998; Tsotsolas et Alexopoulos, 2018). PSS and spatial suitability analysis are thus of growing interest to support strategic planning of urban trees as evidenced by

several studies that have developed PSS in different urban contexts (Almeter et al., 2018; Bodnaruk et al., 2017; Nyelele et Kroll, 2021; Sousa-Silva, Cameron, et al., 2021).

### **3.2.3 Strategic Planning of Urban Trees: Bridging Theory and Practice**

While the capacity of urban trees to generate multiple benefits, termed multifunctionality, has been at the center of the political discourse on urban trees and city-scale climate adaptation (Bush et Hes, 2018; Herzele, 2014), the siting criteria used to locate green spaces generally reflect a preference for a single rather than multiple benefits and generally disregard trade-offs between locations (Hoover et al., 2023). Specifically, urban trees are often planned with a focus on maintenance and plant health (Ordóñez et Duinker, 2013). Studies have also shown that in practice, UGI is often planned opportunistically rather than strategically (Dagenais et al., 2017; Kuller et al., 2021; Meerow et Newell, 2017). The opportunistic siting of UGI may result in less-than-ideal siting and benefits provision (Garrison, 2019; Kremer et al., 2016). In theory, planting urban trees on the most strategic sites identified by a PSS could considerably improve the outcome of urban forest planning. However, few studies actually checked how and why employing tools that consider a broad range of criteria in urban tree planning indeed results in a different array of planting sites, diverging from those conventionally considered by municipal practices (Almeter et al., 2018; Bodnaruk et al., 2017; Nyelele et Kroll, 2021; Sousa-Silva, Cameron, et al., 2021). This gap in the literature calls for additional research into the difference in prioritized sites by municipal practitioners versus those prioritized by PSS.

Therefore, in this study, we **(a)** developed a PSS-compatible spatial suitability framework for urban tree planting following GIS-MCDA methods to strategically locate new trees. We **(b)** analyzed the tree planning documents of three borough of Montreal (Quebec, Canada) to understand the criteria guiding their decisions. Additionally, we **(c)** conducted a comparative analysis between our prioritized sites and those planned by those three boroughs to determine differences in site prioritization. By spatially examining the extent of overlap or divergence between the two sets of prioritized sites, we aimed to ascertain whether our framework yielded different site prioritizations compared to those chosen by the municipalities. By further investigating which factors municipal practitioners consider and how they consider them, we may

explain potential discrepancies with our prioritization, such as differences in application of prioritization criteria. This approach provides insight into the spatial patterns resulting from strategic planning of urban trees.

### 3.3 Material and Methods

Our methodology (Figure 2) consisted of developing and adapting an urban tree spatial suitability framework from an already existing UGI spatial suitability framework comprising bioretention and rain gardens, infiltration systems, green roofs, ponds and lakes, swales, rainwater tanks, and constructed wetlands (Kuller et al., 2019; Lacroix et al., Under review). We then compared the most suitable sites generated by this framework to sites prioritized by three boroughs of the city of Montreal (Quebec, Canada) for future tree planting.

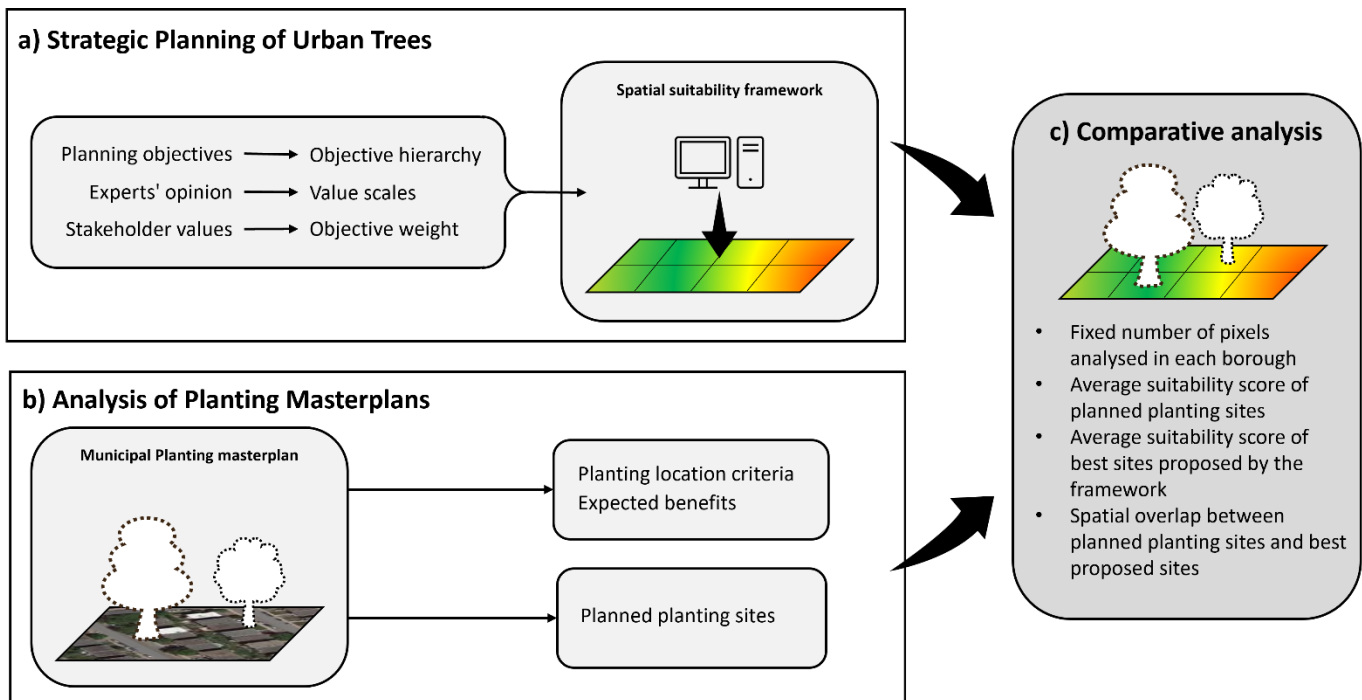


Figure 2 – Employed methodology. (a) development and adaptation of the urban tree spatial suitability framework by constructing an objective hierarchy, defining value scales for every objective and weighting the final objectives; (b) analysis of three borough’s planting masterplans for planting location criteria and expected benefits from tree planting; (c) We calculated average suitability scores for the planned planting sites and the best sites generated by the framework, and the overlap between the two.

### 3.3.1 Case study area

Our case study is the city of Montreal in Quebec (Canada) with slightly over 1,8M inhabitants in 2021 (Statistics Canada, 2023). The City reported a canopy cover of 24.3% in 2022 (Cabinet de la mairesse et du comité exécutif, 2022) in comparison to the 20.3% observed in 2007 (Ville de Montréal, 2012) and, as such, is currently actively engaging in tree planning and planting on its territory. The city is composed of 19 boroughs (Figure 3) that share jurisdiction with a central city-wide administration (the City) on issues such as land use, urban planning and environmental management (Government of Québec, 2023). Both governance levels have an impact on tree planting through direct plantation on their territory and through the adoption of policies. Furthermore, the city's boroughs have a conformity obligation with policies adopted by the City, meaning their own policies must align with those adopted by the City, this also applies to treeing initiatives.

This city recently adopted its Climate Plan 2020-2030 (*Plan climat 2020-2030*) in 2020. Action 20 of this plan aims to “Plant, maintain, and protect 500 000 trees as a priority in areas vulnerable to heat waves” (Ville de Montréal, 2020, p. 71). This action resulted in some boroughs adopting planting masterplans, which are a detailed cartography of potential planting sites. These documents are accompanied by the criteria used to locate the trees and the benefits expected from the plantation.

In our analysis, we focused on three specific boroughs from the city of Montreal (Figure 3): Ahuntsic-Cartierville (AC; Vincent, 2022), Rosemont-La Petite-Patrie (RPP; Boulanger-Messier et Goyette, 2021), and Mercier-Hochelaga-Maisonneuve (MHM; Courtois, 2023). These boroughs were selected because their masterplans were available online through the City of Montreal website.

As of the last Canadian census (2021), AC had a population of 135,336 residents over an area of 24.2 km<sup>2</sup>, while RPP had a population of 141,813 residents over 15.9 km<sup>2</sup>, and MHM had a population of 140,627 residents over 25.4 km<sup>2</sup> (Ville de Montréal, s. d.). In 2015, AC reported a canopy cover of 24%, and RPP aimed to reach a canopy cover of 24.2% by 2025 (Boulanger-Messier et Goyette, 2021; Vincent, 2022). MHM reported a canopy cover of 19.3% in 2019,

although the distribution of this canopy cover varied by sub-sector within the borough (Courtois, 2023).

This selection allowed us to examine a diverse range of urban environments, from densely urbanized areas to those dominated by single-family housing, and from residential to industrial.

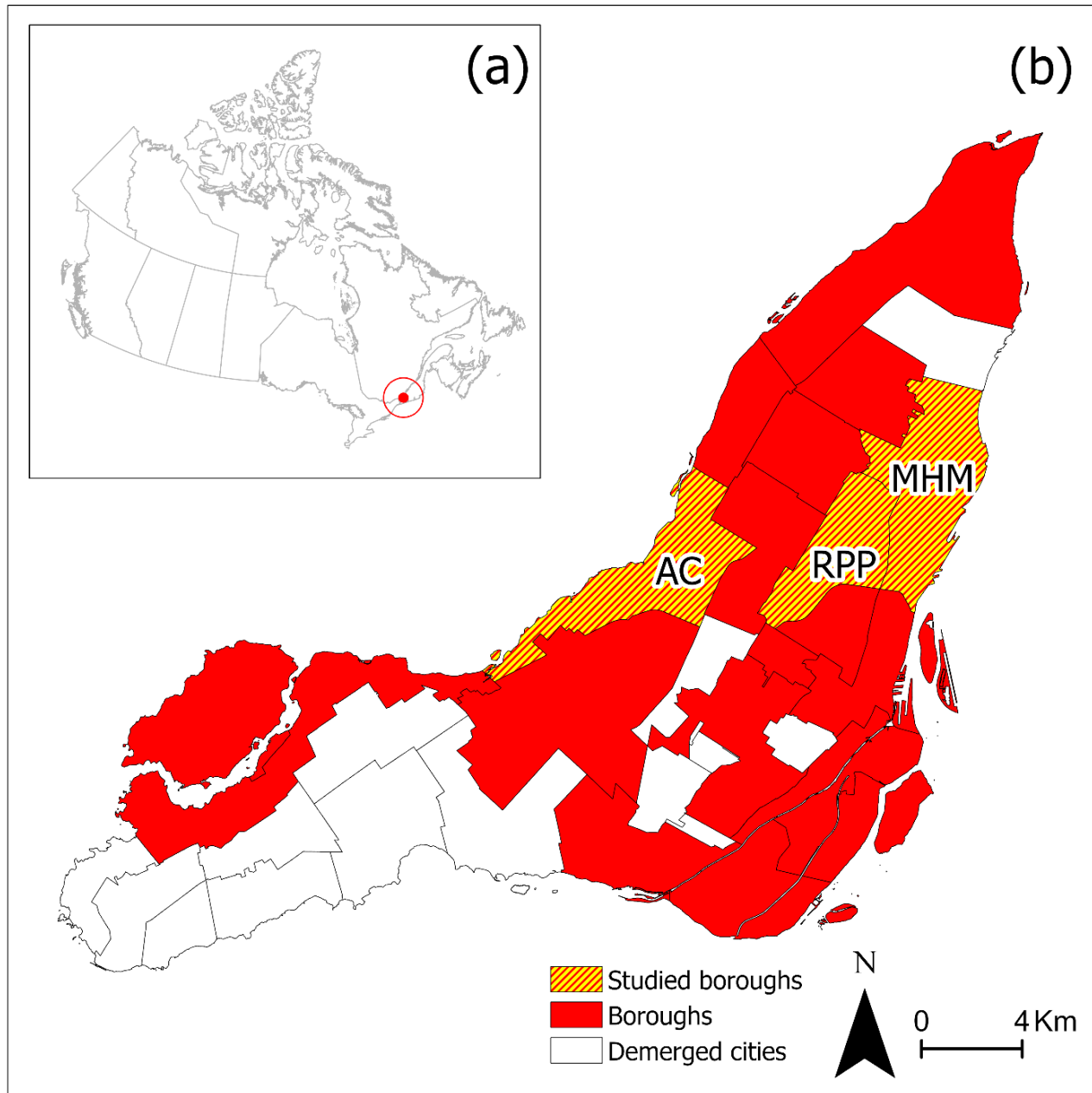


Figure 3 – Location of the city of Montreal and studied boroughs within Canada. AC: Ahuntsic-Cartierville; RPP: Rosemont-La Petite-Patrie; MHM: Mercier-Hochelaga-Maisonneuve.

### **3.3.2 Development and adaptation of an urban tree spatial suitability framework from a UGI spatial suitability framework**

We adapted the framework developed by Lacroix et al. (Under review) for siting green infrastructure in the Quebec context to include urban trees as a new type of green infrastructure. This framework is an adaptation to the Quebec context of earlier work initiated in Melbourne, Australia to develop a suitability framework for siting UGI (Kuller et al., 2019). We chose this framework because it used GIS-MCDA and a multi-attribute value theory (MAVT) approach to generate suitability maps for UGI siting based on two perspectives: opportunities presented by the territory and needs of the territory for UGI-generated benefits. These perspectives allowed us to cover the breadth and variety of criteria related to urban tree planning. MAVT is also a versatile MCDA approach that disaggregates a complicated task into smaller more manageable tasks, thus making stakeholder participation easier (Ferretti et al., 2014).

In this model, planning objectives are the aspects of tree planting location deemed relevant by the stakeholders (Eisenführ et al., 2010) and alternatives designate tree planting sites within the study area. The MAVT model comprises (1) clearly defined objectives and associated attributes (section 3.3.2.2), (2) value functions to objectives fulfillment (section 3.3.2.3), and (3) objective weights that reflect stakeholders' preferences to assess trade-offs among objectives (section 3.3.2.4; Ferretti et al., 2014).

#### **3.3.2.1 Construction of the masterlist of objectives**

Before co-constructing the objective hierarchy with stakeholders, we first developed a masterlist of potential tree planning objectives. We followed Françaço and Belderain (2022)'s problem structuring method for value-focused thinking to structure the decision problem. We consulted both scientific literature and gray municipal literature on spatial planning of urban trees to identify urban trees spatial planning objectives (see supplementary materials section S-3.6.1.1 for more details). An objective describes what the planner seeks to achieve by planting a tree.

Then we used the means-ends network method to represent all the components of the problem, while remaining sufficiently concise so as not to dilute the weight of essential objectives among minor ones (Marttunen et al., 2019). This allowed us to visualize the relationships between the

various objectives and reduce their number by sorting them for similarities and overlap. This also allowed us to hierarchize objectives into fundamental and sub-objectives. Sub-objectives are the means by which fundamental objectives are achieved (Eisenführ et al., 2010).

We validated the masterlist through interviews with four academic experts with expertise in temperate-climate urban forests in North America. Experts were interviewed individually in approximately 1.5-hour interviews conducted via videoconference. During these interviews, a masterlist containing objectives related to trees only as well as objectives that were relevant for both trees and other UGI in Lacroix et al. (Under review) (meaning that they apply to other types of green infrastructure, like bioretention, swales, etc.) was presented to the experts. They were asked to comment on the accuracy of the masterlist's objectives for urban trees; propose new objectives which, according to their expertise, were missing; propose the removal of objectives not applicable to urban trees; modify the wording of an objective; propose moving an objective within the hierarchy or propose attributes to measure an objective.

### **3.3.2.2 Co-construction of the objective hierarchy with stakeholders**

We co-created the objectives hierarchies for urban trees and other UGI by holding two workshops on January 17<sup>th</sup>, 2023 (workshop 1.a, 20 participants) and on January 31<sup>st</sup>, 2023 (workshop 1.b, 17 participants). The methodology used to elicit objective hierarchies for different types of green infrastructures is described in Lacroix et al. (Under review), focusing on trees in the present study. The 37 participants were separated into two workshops to facilitate moderation. Workshop 1.a participants represented stakeholders from the institutional level, while participants to workshop 1.b represented local stakeholders from three boroughs of the studied metropolitan city (Table S-4). In each workshop, participants were divided into subgroups of 6 to 7 people. Both workshops followed the structure presented in Figure 4 composed of alternating individual and group activities to encourage participants' creativity (Guilford, 1956; Yang et al., 2022) and following the objective elicitation recommendations from Haag et al. (2019).

Subsequently, the research team applied a set of conditions described in Lacroix et al. (Under review) to evaluate the validity of the new objectives proposed by the stakeholders. These conditions covered the following considerations: (i) alignment with Kuller et al. (2017)

opportunity and needs framework, (ii) spatial nature of attribute, (iii) relevance with urban trees, (iv) generation by multiple participants, (v) retention by at least one subgroup, (vi) not related to system design, and (vii) clarity and avoidance of overlap with other objectives.

Likewise, we followed the method of Lacroix et al. (Under review) to exclude objectives from the hierarchy. Specifically, objectives were excluded if they met the following conditions: (i) gathered more than 25% exclusion votes, (ii) were not generated by participants, (iii) were not retained by at least one subgroup, and (iv) were primarily related to the design aspects of the system rather than its location.

### 3.3.2.3 Value scales consultations

Value scales were elicited for every attribute through consultations with experts held between May 19<sup>th</sup> and September 8<sup>th</sup>, 2023. Value scales are functions ranging from 0 (worst performance) to 1 (best performance) based on experts' opinions on the degree of fulfillment of the hierarchy's

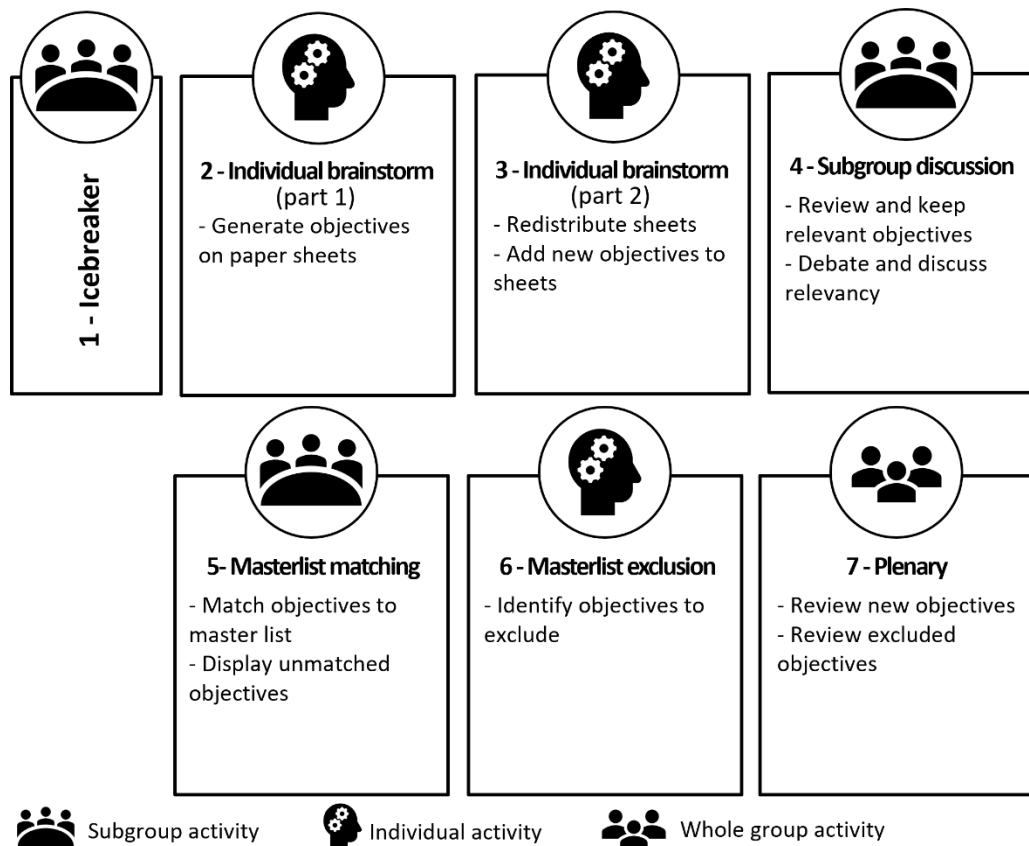


Figure 4 – Description of each step in the hierarchy co-construction workshops.

objectives based on the objective's attributes (Langhans et Lienert, 2016). An attribute is a variable that, when measured, allows the representation and quantification of an objective fulfillment (Langhans et Lienert, 2016). In this study, spatial datasets were collected from various Quebec open-source spatial datasets repositories.

During these consultations, we consulted experts regarding the suitability of the data used to represent the objectives relevant to their expertise. We employed the bisection method for continuous data, which involves plotting a piecewise suitability function by determining a limited number of the function's breakpoints (Eisenführ et al., 2010). We also employed the direct notation method for discrete data, which involves ranking the categories from best to worst and assigning suitability scores according to the given rank (Eisenführ et al., 2010). We repeated these methods for every attribute.

We conducted a total of 15 value-scaling consultations, involving the participation of 21 experts in total. We met with 7 experts in public health, 5 in urban infrastructure, 3 in transport, 2 in urban forestry, 1 in climate adaptation, 1 in water resources, 1 in biodiversity, and 1 in soil engineering. The duration of these consultations varied depending on the number of objectives and attributes addressed, with the shortest session lasting 40 minutes and the longest extending to three hours. To accommodate the schedules of the experts, some of the lengthier consultations were divided into two meetings, resulting in two separate sessions on the same topic. The format of the sessions also varied, including individual interviews with some experts and group discussions with others. Section S-3.6.1.3 of the supplementary materials document provides a complete rundown of the value scale consultations.

#### **3.3.2.4 Weight elicitation**

We elicited stakeholder weights using the SWING method, (Eisenführ et al., 2010) This method asks participants, faced with all the objectives at their worst possible performance, to determine which objective they would like to improve to their best performance as a priority (see section S-3.6.1.4 of the supplementary materials document for additional information on the SWING weighting method and equations). Of the 37 stakeholders who had participated in workshops 1a and 1b (i.e. the development of the final hierarchy of objectives), 11 were available to participate

in the weigh elicitation process. Four workshops were held between July 13<sup>th</sup>, 2023 and October 10<sup>th</sup>, 2023 to accommodate the participants' schedules. These workshops were held over videoconference in which participants made use of an online SWING weighting tool (Aubert et Masson, 2021). The research team remained online during the process, to answer potential questions about the method or the tool and to provide technical assistance. The elicited weights were averaged across all 11 stakeholders for each objective under the opportunities and needs perspectives independently.

### **3.3.3 Urban tree planning practices**

We analyzed three planting masterplans from three boroughs (Table 1) to assess how the planting of trees is planned according to these documents. All planting masterplans are made freely available on the city's website by the boroughs and were retrieved from this depository (Boulanger-Messier et Goyette, 2021; Courtois, 2023; Vincent, 2022). At the time of this study, these were the only masterplans available for the City of Montreal, although other have been published while this article was being written. These masterplans analyze the borough's territory to determine potential future tree planting sites on public land according to a set of criteria set by the borough to allocate various benefits to the population. These plans allow us to gain a better understanding of current criteria for tree planting within these municipal institutions as well as which constraints are considered when planning future trees.

We analyzed each planting masterplan to determine (i) criteria used for prioritizing potential planting locations, and (ii) expected benefits derived from tree planting. These two elements were used to better understand how the borough planned its trees and give context for our analysis.

### **3.3.4 Comparative analysis**

Suitability maps were generated using ArcGIS Pro 3.1 (ESRI Inc., 2022) model builder, at a 20m-by-20m resolution using weighted linear combination to aggregate the score of individual sub-objectives (see section S-3.6.1.5 of the supplementary materials document for additional information about map generation) to which we overlaid the tree planting sites planned by the boroughs. Because we did not have access to the right-of-way width data from the boroughs, we analyzed the entire borough, including private land. We used R (v4.3.2; R Core Team, 2023) to

calculate the several indicators for our comparison. These indicators were calculated for every sub- and fundamental objectives of our hierarchy, for the combination of the objectives from the opportunity and needs perspective, and for the combination of every objective (strategic).

In each borough, we identified a set of cells, P, containing the n cells where the boroughs planned to plant trees. Using these cells, we calculated the average (BS) and standard deviation (sd\_BS) of the score from our framework for every objective of our hierarchy.

For comparison, we identified another set of cells, S, in each borough, containing the n highest scoring cells for a given objective. We calculated the average (FS) and standard deviation (sd\_FS) of the score returned by the framework in each borough. We then calculated the difference in the average scores (FS-BS).

Our overlap indicator represents the percentage of the cells containing planned trees (set P) that overlapped with the n highest scoring cells (set S), calculated using the formula:

$$Overlap = \left( \frac{P \cap S}{n} \right) \times 100$$

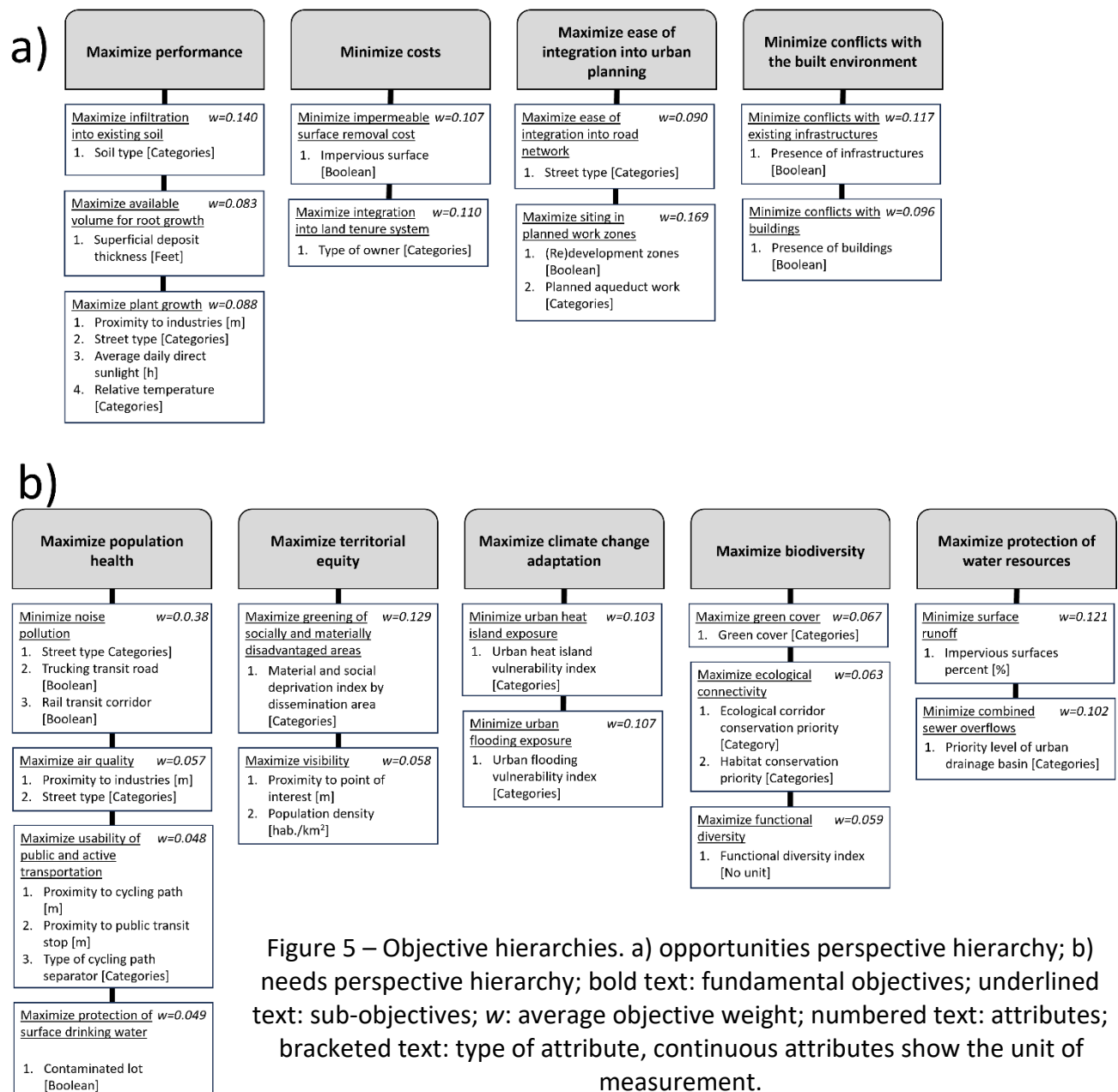
Where n is the number of cells where the boroughs planned to plant trees, and  $P \cap S$  is the number of cells that intersect both set P and set S.

## **3.4 Results & Discussion**

### **3.4.1 Developed urban tree spatial suitability framework**

The urban tree spatial suitability framework that we developed with the stakeholders contains a total of 22 sub-objectives across 9 fundamental objectives (Figure 5). These are further subdivided into opportunities (Figure 5a) and needs (Figure 5b). We identified and discussed 33 attributes (Figure 5) with the various experts who participated in value scale elicitation to represent these objectives. We created as many value scales as there are attributes. We also calculated an average weight for each sub-objective following the weighting workshops (Figure 5). More details on the hierarchy and the set of objectives considered at the different stages of the project are available in section S-3.6.2.1 of the supplementary materials document.

The weighting workshops resulted in two weight matrixes, i.e., one matrix for the opportunities perspective (Figure 5a) and one for the needs perspective (Figure 5b), and allowed us to explicitly represent stakeholder’s preferences between objectives. *Maximize siting in planned work zones* was given the highest weight among all objectives in our hierarchy and under the opportunities’ perspective. This denotes our stakeholder’s preference for opportunistic siting and aligns with existing literature on UGI planning and the emphasis placed by planners to site UGI where the opportunity arises (Dagenais et al., 2017; Kuller et al., 2021; Meerow et Newell, 2017).



Our generated suitability maps (Figure 6) showcased varying spatial patterns depending on the perspective of the framework. As per our framework, the strategic planning of urban trees is achieved when both opportunities and needs are combined.

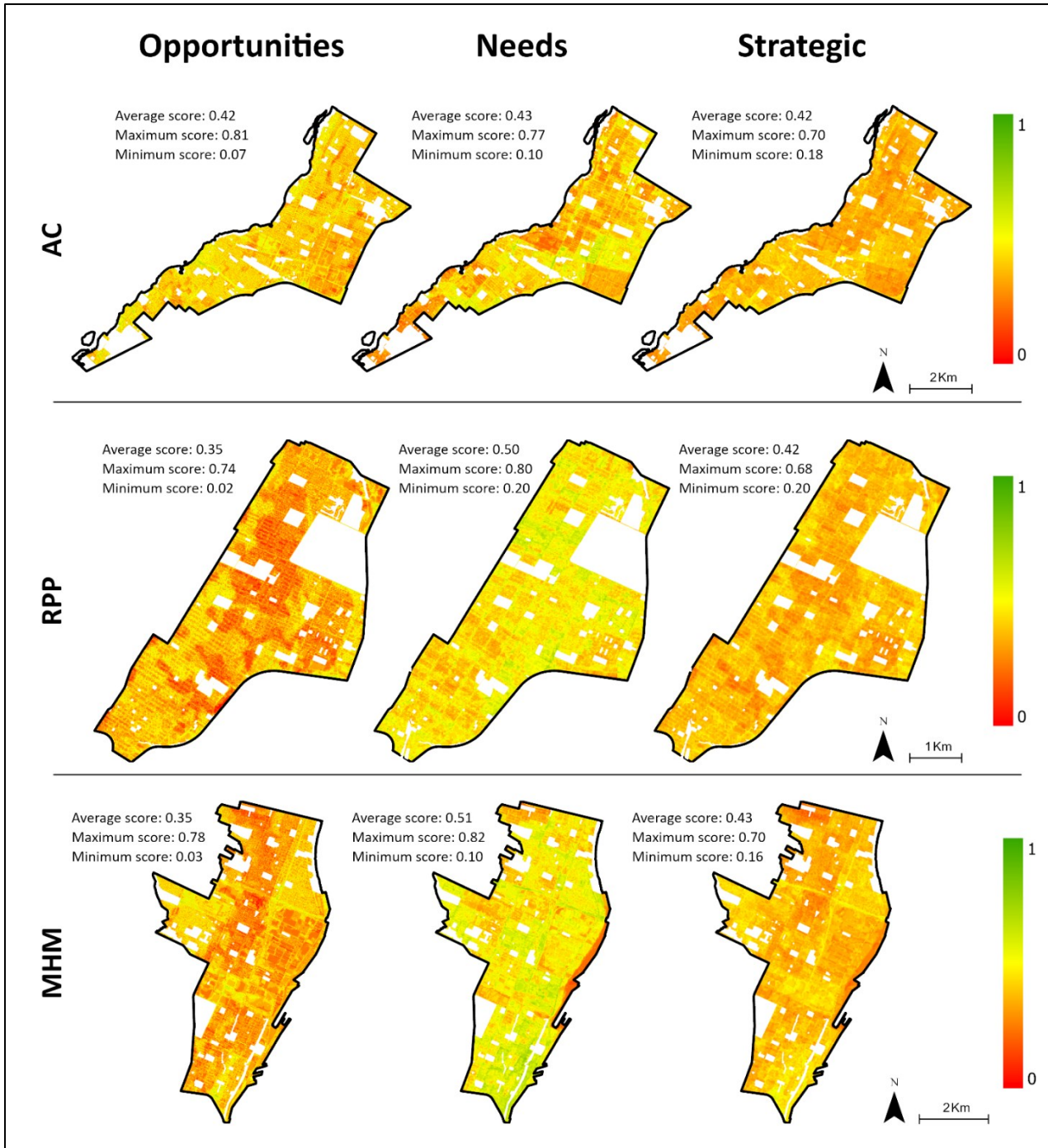


Figure 6 – Generated suitability maps using our framework for the opportunities and needs perspective and strategic approach. The color on the maps indicates the suitability score between 1 and 0 according to the color scale on the right. Green= highest suitability, red = lowest suitability.

### 3.4.2 Current municipal urban tree planning practices

The analyzed planting masterplans present the methodology by which the boroughs established the planting potential of their territory. The documents only covered public land, which we could not reproduce due to unavailable data. The determined sites were separated into two main categories: (1) on-street planting potential and (2) off-street planting potential, which solely targets parks under the borough's jurisdiction. The on-street potential was further divided into three categories, namely (i) sites free of constraints, (ii) sites to be redeveloped, and (iii) sites that need impermeable surface removal. In all analysed plans, the number of off-street sites was estimated by the borough's landscape architects without explicit criteria and without spatial representation. Therefore, these sites could not be studied further. As a result of this observation, we masked the boroughs' parks in our analysis. Table 1 presents an overview of the criteria used by the boroughs for mapping potential planting sites for each of the three analyzed boroughs and the expected benefits, and Figure 7 maps the sites in each borough.

Our analysis of the planting masterplans (Table 1) reveals that they predominantly prioritize technical criteria and constraints when evaluating the suitability of sites for planting (Ordóñez et Duinker, 2013). This examination is done at a very small scale, which allows to discriminate between sites separated by mere meters. Consequently, a comprehensive understanding of municipal regulations and urban design by the planner is necessary to assess a site's planting potential. While all the reviewed plans acknowledge the benefits of tree planting to varying degrees, their primary focus lies in identifying potential sites rather than strategizing tree placement to optimize these benefits. This aligns with objectives under *Maximize ease of integration into urban planning* and *Minimize conflicts with the built environment* from our proposed strategic planning framework. This emphasis is made evident by the absence of spatial criteria pertaining to generation of benefits in most plans, except for AC, which employs UHI and functional diversity spatial data to prioritize interventions at a later stage. Across all three plans, UHI abatement is the main expected benefit from planting trees, often used interchangeably with improving population health. This highlights how the borough's planting masterplans recognize the multifunctional aspects of urban trees (Bush et Hes, 2018; Herzele, 2014), but also how they only operationalize a limited number of them (Hoover et al., 2023).

Table 1 – Overview of screened elements from the analyzed planting masterplans

	AC	RPP	MHM
Criteria for prioritizing potential planting locations	– Avoid gas ducts and EAC infrastructure	– Avoid gas ducts and EAC infrastructure	
	– Respect the borough’s minimum distance to infrastructure indicators	– Respect the borough’s minimum regulatory distance to infrastructure	– Respect the borough’s minimum regulatory distance to infrastructure
Expected benefits from tree planting	– Avoid duplication of planned planting sites	– Avoid duplication of planned planting sites	– Areas to avoid due to planned work
		– Within street right-of-way	– Avoid duplication of planned planting sites for 2021
	– Increase population health through UHI abatement (spatially prioritized based on UHI and functional diversity)	– Increase resilience through UHI abatement	– Within street right-of-way
		– Create complete ecosystems in green spaces	– UHI abatement
			– Increase population health
			– Decrease vulnerable population vulnerability to UHI

### 3.4.3 Comparing site prioritization in strategic and municipal urban tree planning

Our comparative analysis aimed to provide some insight into the similarities and differences between the suitability maps generated by our developed framework and the sites prioritized by municipal practitioners. Overall, we found little overlap between the most strategic sites generated by our framework and those prioritized by the city (Table 2). The results of our analysis of 3 007 sites in AC, 3 336 in RPP, and 3 205 in MHM show that the strategic approach, combining all the objectives, has an overall low overlap with the sites planned by the boroughs (10%-13%; Table 2). This suggests that our framework identifies different areas as highest priority planting sites than those prioritized by the borough’s planners. Figure 8 below highlights the cells in which the borough’s planned trees overlap cells for which our framework calculates the highest suitability score for the strategic approach.

Visual investigation of Figure 8 shows some slight clustering of the most suitable cells (green) but, because we did not have access to the right-of-way width data, we cannot conclude with certainty whether the areas prioritized by our strategic approach are on public or private land. Planting on private land has been identified as an opportunity to increase both canopy cover and tree diversity in Montreal (Daniel et al., 2016; Hutt-Taylor et Ziter, 2022).

The low overlap percentages found between the borough's planned trees and the needs perspective (8%-14%; Table 2) from our framework aligns with findings from Ordóñez and Duinker (2013), which highlighted the municipalities' emphasis on planning the maintenance and plant health aspects of tree planting but revealed deficiencies in addressing their social aspects. But contrary to their findings, we find mixed results regarding maintenance and plant health aspects. There is low overlap with the objective *maximize plant growth* (11%-19%), but medium-high overlap with the objective *maximize available volume for root growth* (32%-69%).

Several factors come into play in addressing the objective to maximize plant growth that can explain the disparity between the prioritized sites. On the one hand, the boroughs' masterplans did not consider criteria related to maintenance and plant growth. On the other hand, traditional urban forest planning and management heavily focuses on species selection on a case-by-case basis (Conway et Vander Vecht, 2015; S. Roy, 2017). Therefore, although they did not consider site stressors at the planning stage, it is safe to assume that the sites prioritized by the boroughs could support trees if the species selected are resistant to the site's stressors and results in low overlap with our framework. This is a limit of our framework and is discussed in the study's limits below.

Additionally, the objective to *maximize available volume for root growth* sheds light on a critical aspect of urban tree planning – soil quality and quantity. Urban soils are inherently heterogeneous, exhibiting horizontal and vertical variability (Van De Vijver et al., 2020). To assess soil conditions, we relied on proxy data in the form of a legacy soil map, as it was the only large-scale soil inventory available for the study area. However, legacy soil maps often provide outdated information, particularly in areas where urban development has occurred (Van De Vijver et al., 2020). This means there is low reliability for this objective. The lack of up-to-date urban soil

mapping poses a significant challenge for urban tree planning, as soil volume is a crucial factor for tree growth and survival (Chi Yung Jim, 2019). Thus, until more reliable data becomes available there is low reliability for this objective.

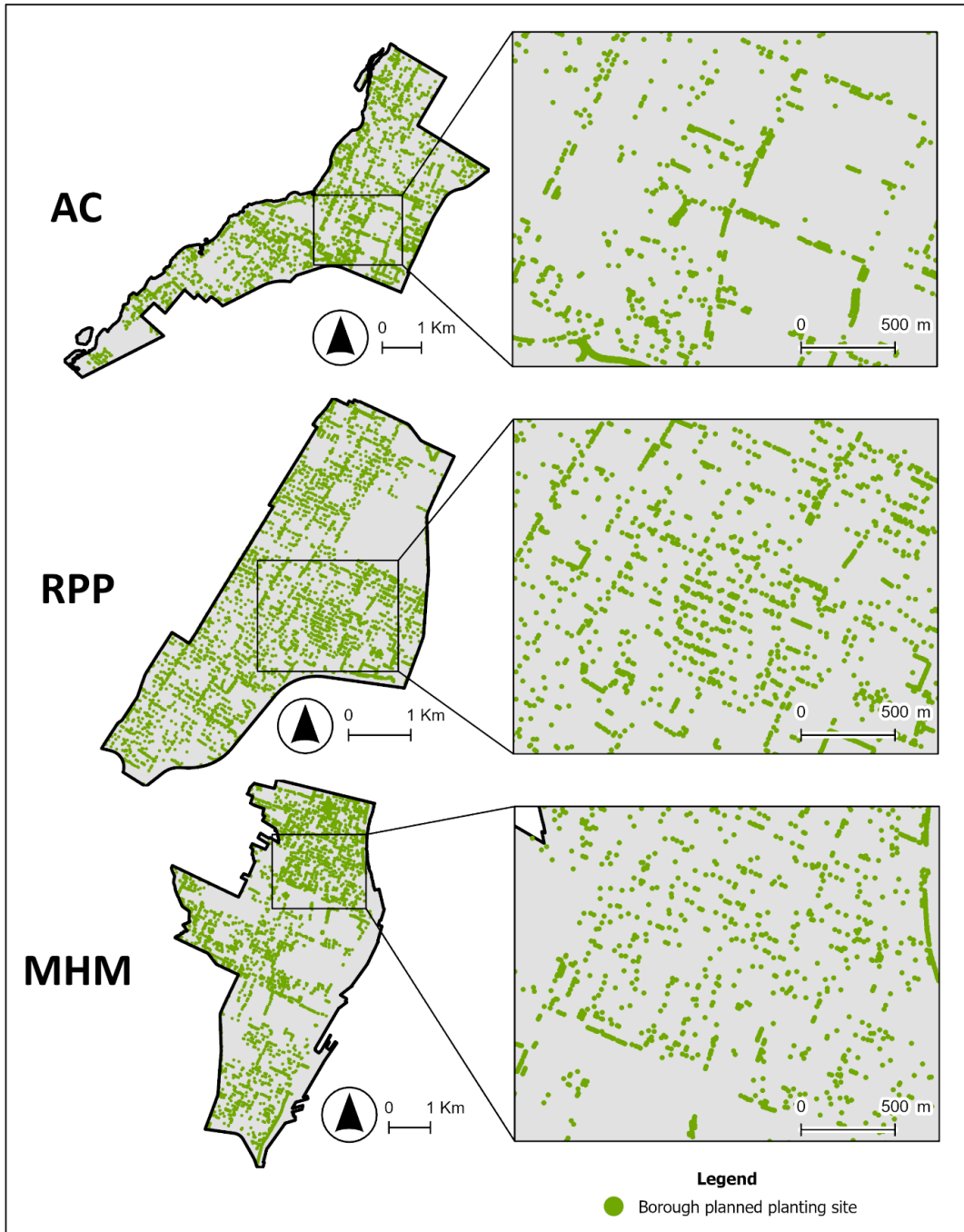


Figure 7 – Localisation of the borough's planned tree planting sites (left) and close-up (right).

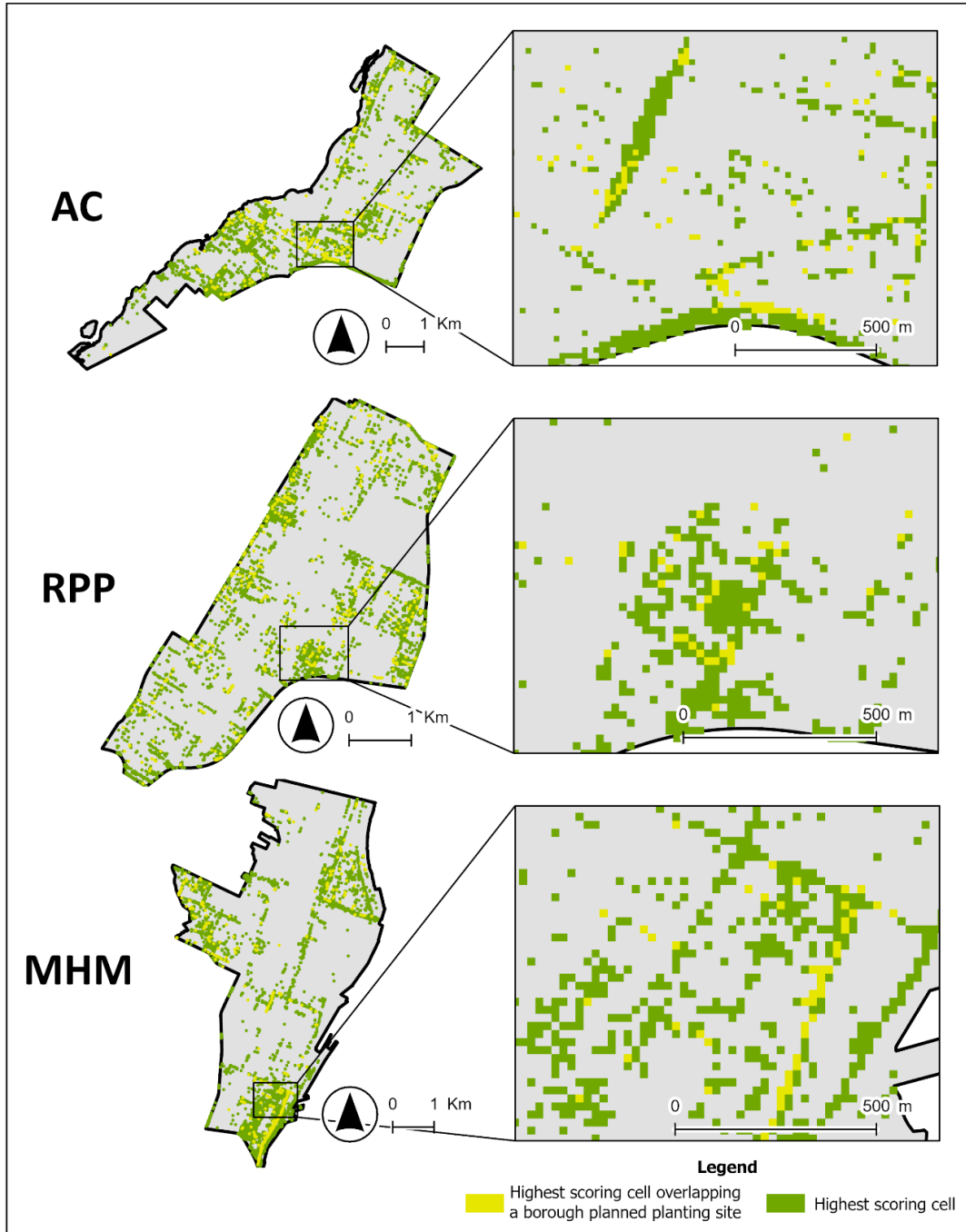


Figure 8 – Overlapping (yellow) and highest scoring (green) cells across each borough for the strategic approach.

Notably, when looking into the objectives that constitute the opportunities perspective, the objective to *minimize conflicts with existing infrastructure* has a very low overlap (3%-4%). This can be explained as borough planting masterplans operate at a fine spatial scale, where small distances can significantly influence the suitability of planting locations. In contrast, our analysis

is conducted at a coarser resolution of 20 meters by 20 meters. While both approaches considered factors such as proximity to buildings and potential conflicts with infrastructure, the aggregation of these objectives within a given pixel fails to capture the level of detail employed by the boroughs. Rethinking the attribute assigned to this objective to represent the plantable space available within a cell when regulatory separation distances to infrastructures are taken into account could be more representative of the methodology used by the boroughs. However, this objective will still identify roads as less suitable locations for planting, due to the concentration of infrastructures in these locations. Planners should therefore exercise caution when interpreting suitability maps generated from frameworks like ours, as the scale of the analysis can skew the way in which phenomenon are interpreted (Malczewski et Rinner, 2015). In the case of this study, this means some strategic sites might have been overlooked because they have been scored lower for this objective.

Table 2 – Comparative analysis between the planned planting sites and the framework-generated sites, in each borough. Red = low overlap; green = high overlap.

Type	Objective	AC						RPP						MHM					
		n = 3007						n = 3336						n = 3205					
		BS	sd_BS	FS	sd_FS	FS-BS	Overlap	BS	sd_BS	FS	sd_FS	FS-BS	Overlap	BS	sd_BS	FS	sd_FS	FS-BS	Overlap
Sub-objectives	Maximize infiltration into existing soil	0.58	0.23	1.00	0.00	0.42	11%	0.44	0.44	1.00	0.00	0.56	31%	0.17	0.28	0.90	0.16	0.74	22%
	Maximize available volume for root growth	0.92	0.22	1.00	0.00	0.08	69%	0.57	0.46	1.00	0.00	0.43	32%	0.73	0.42	1.00	0.00	0.27	61%
	Maximize plant growth	0.72	0.17	0.97	0.02	0.25	11%	0.71	0.16	0.93	0.04	0.23	19%	0.72	0.16	0.96	0.02	0.24	14%
	Minimize impermeable surface removal cost	0.15	0.36	1.00	0.00	0.85	15%	0.10	0.30	1.00	0.00	0.90	10%	0.16	0.37	1.00	0.00	0.84	16%
	Maximize integration into land tenure system	0.78	0.18	1.00	0.00	0.22	17%	0.76	0.17	0.99	0.04	0.22	18%	0.76	0.20	1.00	0.00	0.24	9%
	Maximize ease of integration into road network	0.82	0.38	1.00	0.00	0.18	82%	0.81	0.39	1.00	0.00	0.19	81%	0.79	0.41	1.00	0.00	0.21	79%
	Maximize siting in planned work zones	0.03	0.12	0.51	0.05	0.47	6%	0.01	0.06	0.03	0.11	0.02	96%	0.13	0.22	0.50	0.04	0.37	25%
	Minimize conflicts with existing infrastructure	0.03	0.16	1.00	0.00	0.97	3%	0.03	0.17	1.00	0.00	0.97	3%	0.04	0.19	1.00	0.00	0.96	4%
	Minimize conflicts with buildings	0.36	0.48	1.00	0.00	0.64	36%	0.19	0.40	1.00	0.00	0.81	19%	0.36	0.48	1.00	0.00	0.64	36%
	Minimize noise pollution	0.17	0.25	0.67	0.03	0.50	12%	0.12	0.19	0.50	0.16	0.39	17%	0.12	0.22	0.67	0.05	0.55	10%
	Maximize air quality	0.37	0.18	0.68	0.09	0.31	13%	0.34	0.17	0.62	0.09	0.29	16%	0.36	0.20	0.73	0.09	0.37	11%

	Maximize usability of active and public transportation	0.07	0.14	0.40	0.13	0.33	14%	0.13	0.19	0.44	0.12	0.31	21%	0.09	0.15	0.42	0.13	0.33	13%
	Maximize protection of surface drinking water sources	1.00	0.07	1.00	0.00	0.00	100%	0.98	0.15	1.00	0.00	0.02	98%	0.94	0.24	1.00	0.00	0.06	94%
	Maximize greening of socially and materially disadvantaged areas	0.49	0.31	1.00	0.00	0.51	7%	0.38	0.27	0.90	0.12	0.52	20%	0.55	0.32	1.00	0.00	0.45	14%
	Maximize visibility	0.11	0.08	0.32	0.10	0.21	8%	0.19	0.10	0.38	0.10	0.20	11%	0.12	0.09	0.35	0.09	0.23	6%
	Minimize urban heat island exposure	0.68	0.31	1.00	0.00	0.32	33%	0.84	0.20	1.00	0.00	0.16	48%	0.79	0.22	1.00	0.00	0.21	40%
	Minimize urban flooding exposure	0.37	0.28	1.00	0.00	0.63	9%	0.34	0.25	0.83	0.16	0.49	24%	0.35	0.25	1.00	0.00	0.65	6%
	Maximize green cover	0.55	0.40	1.00	0.00	0.45	37%	0.52	0.42	1.00	0.00	0.48	38%	0.53	0.39	1.00	0.00	0.47	33%
	Maximize ecological connectivity	0.00	0.02	0.05	0.13	0.04	86%	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	100%	0.00	0.03	0.15	0.22	0.15	69%
	Maximize functional diversity	0.82	0.12	1.00	0.00	0.18	3%	0.83	0.12	0.97	0.02	0.14	8%	0.85	0.11	1.00	0.00	0.15	4%
	Minimize surface runoff	0.70	0.24	1.00	0.00	0.30	7%	0.70	0.24	1.00	0.00	0.30	7%	0.69	0.24	1.00	0.00	0.31	4%
	Minimize combined sewer overflows	0.35	0.01	0.35	0.00	0.00	100%	0.83	0.29	1.00	0.00	0.17	74%	0.93	0.20	1.00	0.00	0.07	90%
Fundamental objectives	Maximize performance	0.74	0.14	0.94	0.03	0.20	10%	0.57	0.22	0.89	0.03	0.32	13%	0.54	0.17	0.84	0.04	0.31	8%
	Minimize cost	0.15	0.36	1.00	0.00	0.85	15%	0.10	0.30	1.00	0.00	0.90	10%	0.16	0.37	1.00	0.00	0.84	16%
	Maximize ease of integration into urban planning	0.43	0.21	0.66	0.12	0.23	41%	0.41	0.20	0.51	0.04	0.10	81%	0.46	0.23	0.75	0.02	0.29	20%
	Minimize conflicts with the built environment	0.19	0.25	1.00	0.00	0.81	1%	0.11	0.22	0.83	0.24	0.71	22%	0.20	0.26	1.00	0.00	0.80	2%
	Maximize population health	0.40	0.10	0.60	0.04	0.20	11%	0.39	0.10	0.56	0.06	0.17	15%	0.38	0.12	0.62	0.05	0.24	10%
	Maximize territorial equity	0.30	0.17	0.62	0.04	0.32	5%	0.28	0.15	0.59	0.06	0.30	9%	0.34	0.18	0.62	0.04	0.29	6%
	Maximize climate change adaptation	0.53	0.23	0.95	0.06	0.42	9%	0.59	0.16	0.88	0.08	0.29	14%	0.57	0.18	0.95	0.05	0.38	6%
	Maximize biodiversity	0.46	0.14	0.66	0.02	0.21	4%	0.45	0.14	0.65	0.01	0.20	11%	0.46	0.14	0.68	0.04	0.22	1%
	Maximize protection of water resources	0.52	0.12	0.68	0.00	0.15	7%	0.76	0.17	1.00	0.01	0.23	8%	0.81	0.15	1.00	0.00	0.19	4%
	Combined objectives	Opportunities	0.44	0.10	0.61	0.04	0.17	9%	0.36	0.10	0.53	0.04	0.17	11%	0.38	0.10	0.56	0.04	0.18
Needs		0.46	0.09	0.62	0.03	0.16	10%	0.51	0.07	0.62	0.03	0.11	14%	0.54	0.08	0.69	0.03	0.15	8%
<b>Strategic</b>		0.45	0.06	0.56	0.02	0.10	11%	0.44	0.06	0.53	0.03	0.10	13%	0.46	0.07	0.57	0.03	0.11	10%

n = Number of cells overlapped by a borough planned planting site

BS = Average score of cells overlapped by a borough planned planting site.

sd\_BS = Standard deviation of BS; grayed for readability

FS = Average score of the n most suitable cells

sd\_FS = Standard deviation of FS; grayed for readability

FS-BS = Difference between FS and BS

Overlap = % of n most suitable cells overlapped by a borough-planned planting site

On the contrary, we observe a very high overlap between the planned planting sites and the sites prioritized by our framework for maximizing ease of integration into the road network, which is consistent with the methodology adopted by the boroughs to plan trees in the streets right-of-way.

Objectives which have very high overlap and very small difference like *Maximize protection of surface drinking water sources*, *maximize ecological connectivity*, and *minimize combined sewer overflows* should be interpreted as objectives for which there was very little spatial variability across the studied boroughs. This is further supported by their low standard deviation. This means that the spatial attributes that were selected to represent these objectives could be refined in the future by increasing their spatial resolution or by choosing an attribute which is measured at a small scale to generate more spatial variability within each borough and allow discrimination between sites.

Overall, these results highlight that the strategic approach adopted in this study, which entails the consideration of multiple planning objectives, can result in alternative prioritized planting sites for urban trees as compared to those identified by the boroughs without the support from such a framework. A decreasing overlap between the sites prioritized by our framework and the sites prioritized by the borough's planting masterplans as multiple objectives are combined (i.e. fundamental and combined objectives) also shows that considering multiple criteria results in a different site prioritization. Analyzing individual objectives and comparing how certain criteria were handled by the framework as opposed to the framework allowed us to gain insight into the contribution of each objective to the general strategic scoring and future ameliorations to better represent the factors pertaining to urban tree planning.

#### **3.4.4 Limitations and further research**

Comparing PSS to existing practices proves challenging as they are modeled after social and technical variables, which makes it difficult to assess the impact of concurrent factors and their interactions on the results (van Asselt et Rotmans, 2002).

The spatial urban tree suitability framework developed in this study suffers from the same limitations, where quality data pertaining to tree-related factors may be scarce and of varying

degrees of precision. The MCDA approach is dependent on the specificity of the data inputted into the model, and the accuracy of the method is therefore dependent on the availability, quality, and spatial and temporal resolution of the input data (Malczewski et Rinner, 2015). It is also important to note that we did not carry out the full MCDA process in this study: we forewent any kind of sensitivity analysis that could have further modified the framework (Crosetto et al., 2000).

Aesthetics, although integral to tree planting, was excluded from our framework due to its dependence on species and the inherent difficulty in achieving consensus on what constitutes aesthetically pleasing tree location (Lothian, 1999). Our framework also does not include tree disservices, which could further influence the trade-offs between locations (Sousa-Silva, Smargiassi, et al., 2021). We also did not consider the fact that all the trees planned in the masterplans might not be planted in the future and that the boroughs might apply their own, undocumented, prioritization to those planting sites. Moreover, our proposed approach focuses only on the spatial factors involved in tree planning. In other words, any phenomenon that could not be expressed with spatial data, or that did not show spatial variation, could not be included in the strategic analysis. This is particularly true of tree species as highlighted by our objective to *maximize plant growth*. Although our analysis was able to assess that a given site was more or less strategic due to constraints on tree planting, certain tree species could probably be planted at that same site based on their species' ability to withstand these constraints. The choice of species adds a layer of complexity to site prioritization, inducing variability at all scales of values developed for each species (Nitoslawski et al., 2017). Some PSS have been developed with the sole purpose of dealing with the selection process of tree species (Vlachokostas et al., 2014). Our strategic model could be used in conjunction with a tree species PSS to circumvent this complexity.

The strategic approach developed in this study is based on the recommendations from the literature to consider multiple spatial criteria to plan future trees. Additionally, including stakeholders into the development of the prioritization framework theoretically allows to deliver services where they are needed (King et al., 2015). The comparative analysis employed in this study allowed us to gain insight into the spatial patterns of strategic planning and what how they depart from current municipal urban tree planning practices. Our method allowed us to

determine how and why individual objectives from our framework could differ from municipal practitioners planning methods. Nonetheless, this study does not claim to determine the superiority of any presented approach, but it is a first step in understanding how strategic planning of urban trees can result in a different distribution of trees across a city. Future research should focus on the influence of the strategic planning approach of urban trees on the benefits generated by evaluating those benefits if a tree were to be planted in the most strategic location (Nesbitt et al., 2017). Multiple ecosystem services modeling and evaluation software, the likes of InVEST (Natural Capital Project, 2024), are freely available online and could be used.

### **3.5 Conclusion**

As cities worldwide accelerate planting across their territory to increase their resilience to climate change and urbanization (D. H. Locke et al., 2013; Yao et al., 2019; Young, 2011), we provided planners and urban foresters with a flexible PSS capable of prioritizing planting locations across their territory based on technical, environmental and social criteria. This strategy aimed to site trees where they could provide more ecosystem services than the traditional tree planting planning approach. We compared the prioritization generated by this tool to planning documents adopted by three boroughs of Montreal, Canada.

Overall, our spatial suitability model was able to provide valuable insights into identifying alternative priority areas for urban tree planting, taking into account both opportunities and needs of the territory across different boroughs. Our comparative analysis revealed that the boroughs prioritized a different set of locations as compared to those prioritized via the strategic approach. Whereas planting sites prioritized by the boroughs were limited to streets right-of-way, our framework also analyzed potential sites located on private land. Further research should focus on comparing the public and private tree planting suitability as targeting private land for future urban tree planting can be an effective way for municipal institutions to increase their canopy cover and diversify their tree population (Daniel et al., 2016; Hutt-Taylor et Ziter, 2022). Investigation into the individual objectives comprising the strategic approach reveals how the attributes used, and their spatial scale can influence the placement of urban trees. Further

research should focus comparison of the benefits generated by trees planted on sites prioritized by the boroughs versus the most strategic sites prioritized by our framework.

## **S-3.6 Supplementary material**

### **S-3.6.1 Material and methods**

#### **S-3.6.1.1 Masterlist development**

Our first step in adapting the work of Lacroix et al. (Under review) for strategic planning of urban trees was to review the literature on spatial planning of urban trees. Both scientific and gray literature were reviewed since municipal institutions play a key role in planning and planting urban trees. Table S-3 presents the results of this review. Most of the documents studied did not use the concept of planting objectives, but rather planting criteria. The description, the explanation of the criteria choices, and the influence of attribute variation on planting priority were used to determine the objective from the criterion. The spatial attribute used was also noted.

We then ordered the objectives through the construction of a means-ends network (Keeney, 1992). This method allowed us to illustrate the relationships between the different objectives to order them (Gregory et al., 2012, chap. 4; Keeney, 1992, chap. 3; Marttunen et al., 2019). The challenge of the means-ends network is to "disaggregate the problem sufficiently to facilitate its characterization without inducing superficial details" (Gregory et al., 2012, p. 75). Françaço et Belderrain (2022, p. 7) also propose a method to establish the means-ends network:

1. Establish the sequence of objectives, explaining how they relate to each other.
2. Reduce repetition by excluding objectives that have the same relationship to other objectives.
3. Establish a sequence of objectives whose culmination is a fundamental goal.

In essence, we asked the question "Why is this important?" (Françaço et Belderrain, 2022, p. 6) for each objective. If the answer to this question suggested that the objective in question contributed to the achievement of another objective, it was considered a sub-objective. Fundamental objectives were those for which asking this question did not subordinate them to

another objective. When there was no clear fundamental objective for a group of sub-objectives, these objectives were pooled to assign them a fundamental objective resulting from the addition of all these sub-objectives.

Table S-3 : Initial objectives from the scientific and gray literature.

Objective	Source
Minimize heat island exposure	(Amir et Misgav, 1990; Bodnaruk et al., 2017; Liu, 2018; D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013; Meerow et Newell, 2017; Nyelele et Kroll, 2021; Sass et al., 2019; Sousa-Silva, Cameron, et al., 2021; Wilson et Lindsey, 2009; Yoon et al., 2019)
Maximize property value	(Liu, 2018; Wilson et Lindsey, 2009)
Maximize air quality	(Almeter et al., 2018; Amir et Misgav, 1990; Bodnaruk et al., 2017; Liu, 2018; D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013; Meerow et Newell, 2017; Morani et al., 2011; Nyelele et Kroll, 2021; Sass et al., 2019; Wilson et Lindsey, 2009)
Maximize ecological connectivity	(D. Locke et al., 2010; Meerow et Newell, 2017; Sass et al., 2019; Yoon et al., 2019)
Maximize usability of active and public transportation	(Almeter et al., 2018; Amir et Misgav, 1990; Liu, 2018; D. H. Locke et al., 2013; Sousa-Silva, Cameron, et al., 2021)
Maximize security	(Liu, 2018; D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013; Wilson et Lindsey, 2009)
Maximize equitable distribution of canopy cover	(Liu, 2018; D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013; Meerow et Newell, 2017; Morani et al., 2011; Nyelele et Kroll, 2021; Sass et al., 2019; Sousa-Silva, Cameron, et al., 2021)
Minimize noise pollution	(Amir et Misgav, 1990; D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013)
Maximize soil stabilization	(Sass et al., 2019)
Maximize population health	(D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013)
Minimize surface runoff	(Almeter et al., 2018; D. H. Locke et al., 2013; Nyelele et Kroll, 2021; Wilson et Lindsey, 2009)
Minimize urban flooding exposure	(Almeter et al., 2018; D. Locke et al., 2010; Meerow et Newell, 2017)
Maximize functional diversity	(Sousa-Silva, Cameron, et al., 2021)
Maximize wildlife habitat quality	(D. Locke et al., 2010)
Maximize water quality	(D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013)

Maximize social cohesion	(Christman et al., 2018)
Maximize environmental education	(Christman et al., 2018; Liu, 2018)
Maximize visibility	(D. Locke et al., 2010; J. Lu et al., 2011; Wilson et Lindsey, 2009)
Maximize siting in densely populated areas	(Liu, 2018; D. H. Locke et al., 2013; Morani et al., 2011; Sass et al., 2019; Sousa-Silva, Cameron, et al., 2021)
Maximize access to green spaces	(Meerow et Newell, 2017; Sass et al., 2019)
Minimize flooding of planting pits	(Bassuk, 2017; Christman et al., 2018)
Minimize land acquisition cost	(Yoon et al., 2019)
Maximize irrigation	(Bassuk, 2017; Trowbridge et Bassuk, 2004)
Minimize impermeable surface removal cost	(Almeter et al., 2018; Bravo-Bello et al., 2020; C. Y. Jim, 2017; Just et al., 2018)
Maximize area identity	(Amir et Misgav, 1990; Ashfield Council, 2015; D. H. Locke et al., 2013)
Maximize social acceptability	(J. Lu et al., 2011)
Maximize infiltration into existing soils	(Bassuk, 2017; Bellingham Parks & Recreations staff, s. d.; Trowbridge et Bassuk, 2004)
Maximize growth through adequate sunlight	(Bassuk, 2017; Bellingham Parks & Recreations staff, s. d.; C. Y. Jim, 2017; Limoges et al., 2018; Scharenbroch et al., 2017; Trowbridge et Bassuk, 2004)
Maximize growth with good air quality	(C. Y. Jim, 2017)
Maximize growth with adequate temperature	(C. Y. Jim, 2017)
Maximize growth through appropriate land use	(Limoges et al., 2018; J. Lu et al., 2011)
Minimize conflicts with functional street amenities	(Amir et Misgav, 1990; Ashfield Council, 2015; Bassuk, 2017; Bellingham Parks & Recreations staff, s. d.; Hydro Ottawa, s. d.; C. Y. Jim, 2017; Scharenbroch et al., 2017)

### **S-3.6.1.2 Objective hierarchy co-construction workshops**

In the co-creation process of our urban tree planting spatial suitability framework, stakeholders from diverse backgrounds were invited to participate in workshops. We aimed to incorporate a

wide range of perspectives and expertise encompassing multiple views of urban trees. Table S-4 below outlines the expertise of the stakeholders who contributed to the development of the hierarchy. These stakeholders were recruited through the research team’s network.

Table S-4 - Participants at hierarchy co-construction workshops

<b>Workshop 1.a</b>		<b>Workshop 1.b</b>	
January 17 <sup>th</sup> , 2023		January 31 <sup>st</sup> , 2023	
Expertise	n	Expertise	n
Urban infrastructure	8	Civil engineering	6
Environment and climate change	10	Municipal planning	4
Public Health	2	Non-profits/citizen committees	7
Total	20	Total	17

### S-3.6.1.3 Value scales consultations

Value scales were derived from the experts interviews we conducted. Table S-5 presents the overall organization of these consultations: which experts were interviewed for which objectives. During these consultations we employed two value scales elicitation methods, namely the direct notation method for discreet data and the bisection method for continuous data (Figure S-9; Eisenführ et al., 2010).

The direct notation method was employed to determine the ranking of discreet categories and assign them a suitability score (Eisenführ et al., 2010). We provided the experts with a table of all the categories within the dataset. Experts were then asked to rank the best and worst categories. Those categories were instantly assigned a suitability score of 1 (best) and 0 (worst). Experts then had to rank all the remaining categories and assign them suitability scores that respected the assigned rank. The scores were then used as value scale.

The bisection method was employed to determine the general shape of the function that represents the value scale (Eisenführ et al., 2010). This method only requires determining a handful of point along of the function, in-between which we interpolate the slope (Eisenführ et al., 2010). This results in a piecewise function. During the consultation, we provided our experts with a graph, on which the X axis ranged from the attribute’s minimum to maximum value, and the Y axis represented the suitability score, ranging from 0 to 1. We first started plotting the

function by asking at which attribute value (X axis) did the function reach its minimum and its maximum suitability score (Y axis). Once those points were plotted, we asked at which value of the attribute did the function reach a suitability score of 0.5. We asked the same questions for suitability scores of 0.25 and 0.75, which resulted in 5 plotted points to determine the function of the value scale.

Table S-5 – List of experts consulted for the value scale consultations

#	Expert Expertise	Type of expert	Objective(s)	Date
1	Public health	Government	– Maximize greening of socially and materially disadvantaged areas – Maximize visibility	2023-06-05
2	Public health	Government	– Maximize greening of socially and materially disadvantaged areas – Maximize visibility	2023-06-05
3	Public health	Government	– Maximize greening of socially and materially disadvantaged areas – Maximize visibility	2023-06-05
4	Water resources	Academic	– Minimize surface runoff – Minimize combined sewer overflows	2023-07-27
5	Biodiversity	Academic	– Maximize green cover – Maximize ecological connectivity – Maximize functional diversity	2023-05-19
6	Climate adaptation	NGO	– Minimize heat island exposure – Minimize urban flooding exposure	2023-06-14
7	Transport	Municipal	– Maximize usability of active and public transportation	2023-06-19
8	Transport	Academic	– Maximize usability of active and public transportation	2023-06-19
9	Transport	Academic	– Maximize usability of active and public transportation	2023-06-19
10	Public health	Government	– Maximize air quality	2023-08-01
11	Public health	Government	– Maximize air quality	2023-08-01
12	Public health	Government	– Minimize noise pollution	2023-07-19
13	Public health	Government	– Minimize noise pollution	2023-07-19
14	Urban infrastructure	Municipal	– Maximize ease of integration into road network – Maximize siting in planned work zones – Minimize conflicts with buildings	2023-06-01 2023-06-20
15	Urban infrastructure	Municipal	– Maximize ease of integration into road network – Maximize siting in planned work zones	2023-06-01

16	Urban infrastructure	Municipal	– Minimize conflicts with buildings	2023-06-20
			– Maximize integration into land tenure system	2023-07-14
			– Minimize conflicts with existing infrastructure	
17	Urban infrastructure	Municipal	– Maximize protection of surface drinking water sources	2023-07-18
			– Maximize integration into land tenure system	2023-07-14
			– Minimize conflicts with existing infrastructure	
18	Urban infrastructure	Municipal	– Maximize protection of surface drinking water sources	2023-07-18
			– Maximize integration into land tenure system	2023-07-14
			– Minimize conflicts with existing infrastructure	
19	Urban forest	Municipal	– Maximize integration into land tenure system	2023-07-14
20	Urban forest	Academic	– Minimize impermeable surface removal cost	2023-06-20
			– Maximize available volume for root growth	2023-09-08
21	Soil engineering	Academic	– Maximize plant growth	
			– Maximize infiltration into existing soil	2023-06-14

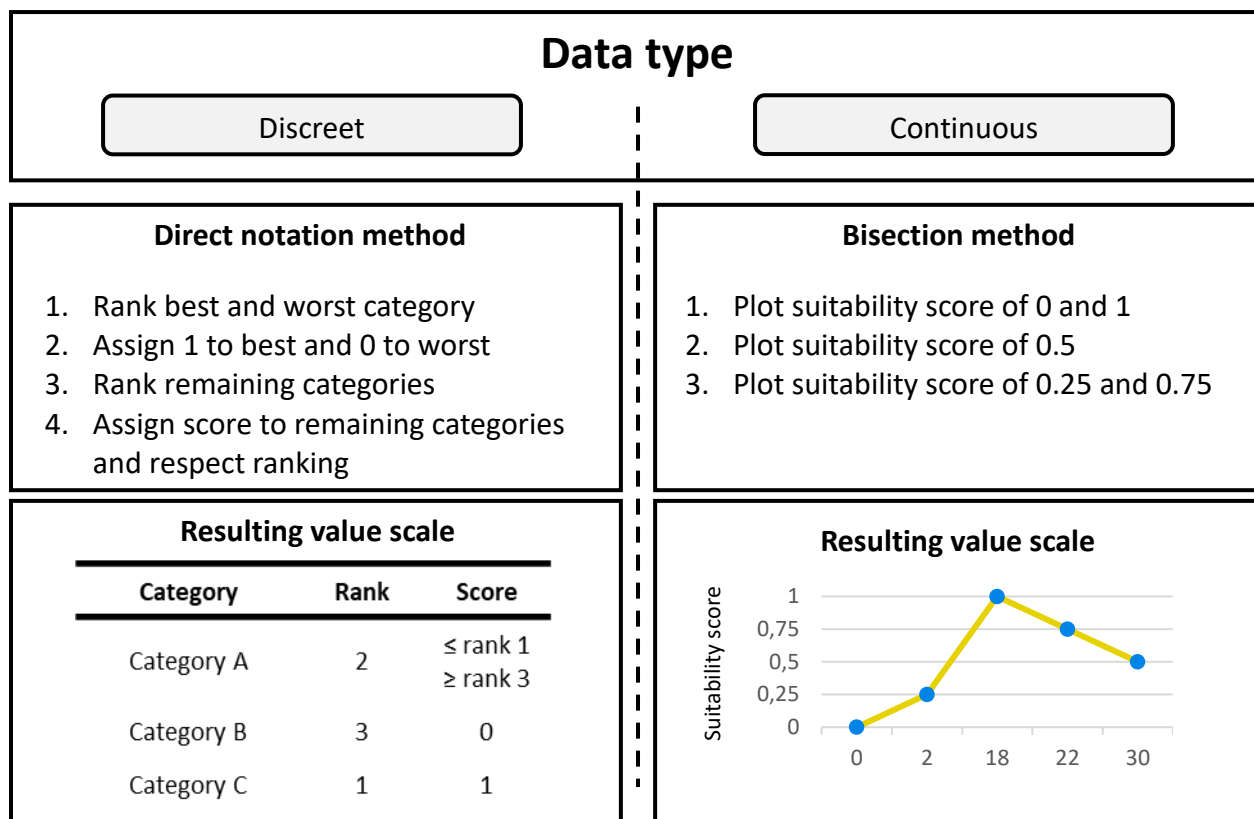


Figure S-9 – Value scale elicitation methods for discreet and continuous data.

#### S-3.6.1.4 Weight elicitation method

We employed the SWING weighting method to represent stakeholders' preferences within our spatial suitability framework (Eisenführ et al., 2010). This is a simple method to compare various objectives based on these objectives' alternative performance (Eisenführ et al., 2010). These alternatives are supposed situation where a set of objectives varies between its best and worst performance. For example, suppose  $a^-$  represents a set defined of objectives at their lowest performance  $x_m^-$ .

$$a^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_m^-)$$

This represents the worst possible alternative where you wouldn't want to plant a tree as its suitability would be at its theoretical lowest. Then, let us suppose, from the same set of objectives, a single objective  $x_r^+$  which has been promoted to its best performance so that we have a new alternative called  $b^r$ .

$$b^r = (x_1^-, \dots, x_{r-1}^-, x_r^+, x_{r+1}^-, \dots, x_m^-)$$

We then asked the stakeholders to rank every  $b^r$  alternatives in order of descending preference (i.e. which objective would they rather be at its best performance when all others are at their worst). To tally the weights, we assign a weight of 0 to  $a^-$ , the worst theoretical alternative, and a value of 100 to the  $b^r$  alternative the stakeholder ranked first. We also asked the stakeholders to assign a score  $t_r$  to the remaining alternatives, according to their ranking, so no smaller than 0 and no higher than 100. We finished by normalizing the weights. This involved dividing each stakeholder-assigned score, by the sum of scores assigned to all alternatives. This normalization ensures that the weights sum up to 1, maintaining consistency in the weighting process. We used this equation from Eisenführ et al. (2010):

$$w_r = \frac{t_r}{\sum_{i=1}^m t_i}$$

Where:

- $w_r$  is the weight of the objective promoted to its best performance in alternative  $r$ .
- $t_r$  is the stakeholder-assigned score for alternative  $r$ .

- $\sum_{i=1}^m t_i$  is the sum of the stakeholder-assigned scores of every alternative objective arrangements.

This method was employed to weight both perspective of our hierarchy independently, which means it returned a matrix of weights for the opportunities perspective and for the needs perspective.

The strength of this method lies in the fact that it is not necessary to present and explain value scales to stakeholders, who only need to understand the best and worst performance of an objective. It can therefore be used with a wider audience (Eisenführ et al., 2010). However, the method is still cognitively demanding for participants, especially because they are asked to rank the alternatives (Hämäläinen et Alaja, 2008). In such cases, stakeholders can feel like every objective is important (Hämäläinen et Alaja, 2008).

#### **S-3.6.1.5 Suitability map generation**

The attribute datasets outlined in Table S-6 served as the primary inputs for our suitability mapping process. We employed various tools within ArcGIS Pro (v3.1; ESRI Inc., 2022) to process and consolidate these datasets. Prior to analysis, data preparation entailed the clipping of each feature class and raster to the designated study area, except for feature classes used for calculating “distance to” metrics, as features beyond the study area boundary could potentially impact suitability scores. Additionally, feature selection based on attributes was performed, with selected features exported into separate shapefiles as required (e.g., industries isolated from other land uses). Boolean attributes were also prepared using the Update tool when the value scale indicated that sites within features should return a suitability score of 0, allowing us to assign a score of 1 to areas outside these features.

We made use of the *Distance accumulation* tool to generate a raster of distance to any point within the study area. This involves setting parameters such as cell size to capture variability in value scale, maximum accumulation to minimize computation time, and optionally adjusting cell size for increased precision.

Subsequently, the *Calculate Field* tool was employed alongside custom Python functions to calculate the suitability score of each pixel for each attribute in accordance with the value scales developed with the experts. In instances where a single cell contained multiple features for a given attribute, aggregation was performed by computing the average score of these features using the *Spatial Join* tool. Similarly, for objectives comprising multiple attributes, aggregation was achieved through averaging the scores of the attributes.

Weighted scoring was determined based on the weights associated with each objective. We used the weighted arithmetic mean (or additive aggregation; Langhans et al., 2014) to calculate the weighted score.

Table S-6 – Framework and attributes for suitability map generation

Perspective	Fundamental objective	Sub-objective	Average objective weight	Attribute	Proxy	Unit	Range	Attribute type	Attribute dataset <sup>1</sup>	Handling	
Opportunities	Maximize performance	Maximize infiltration into existing soil	0.140	Soil type	Yes	Categories	7 categories	Discreet	(Commission géologique du Canada, 2016b)	No	
		Maximize available volume for root growth	0.083	Superficial deposit thickness	Yes	Feet	[0-80]	Discreet	(Commission géologique du Canada, 2016a)	Yes	
		Maximize plant growth	Proximity to industries	0.088	Street type	Yes	m	[0-∞]	Continuous	(Communauté métropolitaine de Montréal, 2023)	Yes
			Street type		Yes	Categories	12 categories	Discreet	(Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023)	No	
		Maximize plant growth	Maximize plant growth	0.088	Average daily direct sunlight hours during the growing season	Yes	Hour/day	[0-14]	Continuous	(Ville de Montréal, 2018a)	Yes
					Predicted relative temperature difference for urban centers	Yes	Categories	9 categories	Discreet	(Institut national de santé publique du Québec, 2019)	No
	Minimize cost	Minimize impermeable surface removal cost	0.107	Impervious surfaces	Yes	Yes/No	0/1	Boolean	(Communauté métropolitaine de Montréal, 2022)	Yes	
		Maximize integration into land tenure system	0.110	Type of owner	No	Categories	5 categories	Discreet	(Foncier Québec, 2021)	Yes	
	Maximize ease of integration into urban planning	Maximize ease of integration into road network	0.090	Street type	No	Categories	12 categories	Discreet	(Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023)	No	
		Maximize siting in planned work zones	0.169	(Re)Development project area	No	Yes/No	0/1	Boolean	(Ville de Montréal, 2016)	No	
	Planned aqueduct work			No	Categories	4 categories	Discreet	(Ville de Montréal, 2018b)	No		
	Minimize conflicts with the built environment	Minimize conflicts with existing infrastructure	0.117	Presence of infrastructure	No	Yes/No	0/1	Boolean	Réseau d'aqueduc et d'égout*	No	
		Minimize conflicts with buildings	0.096	Presence of building	No	Yes/No	0/1	Boolean	(Ville de Montréal, 2023a)	Yes	
	Needs	Maximize population health	Minimize noise pollution	0.038	Street type	Yes	Categories	12 categories	Discreet	(Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023)	No
Trucking transit road					Yes	Yes/No	0/1	Boolean	(Ville de Montréal, 2014a)	No	
Rail transit corridor					Yes	Yes/No	0/1	Boolean	(Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023)	No	
Maximize air quality			0.057	Proximity to industries	Yes	m	[0-∞]	Continuous	(Communauté métropolitaine de Montréal, 2023)	Yes	
				Street type	Yes	Categories	12 categories	Discreet	(Ministère des Ressources naturelles et des Forêts, 2023)	Yes	
				Proximity to cycling path	No	m	[0-∞]	Continuous	(Ville de Montréal, 2023c)	No	
Maximize usability of active and public transportation		0.048	Type of cycling path separator	Yes	Categories	6 categories	Discreet	(Ville de Montréal, 2023c)	No		
			Proximity to public transport stop	No	m	[0-50]	Continuous	(Société de transport de Montréal, 2016)	No		
Maximize protection of surface drinking water sources		0.049	Contaminated lot	Yes	Yes/No	0/1	Boolean	(Service du greffe et Service de l'environnement, 2018)	No		
Maximize territorial equity		Maximize greening of socially and materially disadvantaged areas	0.129	Material and social deprivation index by dissemination area	No	Categories	6 categories	Discreet	(Institut national de santé publique du Québec, 2023)	No	
				Proximity to point of interest	Yes	m	[0-∞]	Continuous	(Service de l'urbanisme et de la mobilité, s. d.)	No	
		Maximize visibility	0.058	Population density by dissemination area	Yes	Person/km <sup>2</sup>	[0-122 000]	Continuous	(Statistics Canada, 2022) <sup>2</sup>	Yes	
Maximize climate change adaptation		Minimize urban heat island exposure	0.103	Urban heat island vulnerability index	No	Categories	5 categories	Discreet	(Ville de Montréal, 2023e)	No	
		Minimize urban flooding exposure	0.107	Urban flooding vulnerability index	No	Categories	5 categories	Discreet	(Ville de Montréal, 2023d)	No	
Maximize biodiversity	Maximize green cover	0,067	Green cover	No	Categories	5 categories	Discreet	(Communauté métropolitaine de Montréal, 2022)	No		
	Maximize ecological connectivity	0.063	Ecological corridors conservation priority	No	Categories	5 categories	Discreet	(Ministère de l'Environnement, Lutte contre les changements climatiques, Faune et Parcs, 2023)	Yes		
			Habitat conservation priority	No	Categories	5 categories	Discreet	(Ministère de l'Environnement, Lutte contre les changements climatiques, Faune et Parcs, 2023)	Yes		
	Maximize functional diversity	0.059	Functional diversity index	No	No unit	[1-9]	Continuous	(Ville de Montréal, 2023b) <sup>3</sup>	Yes		
Maximize protection of water resources	Minimize surface runoff	0.121	Impervious surfaces percent	Yes	%	[0-100]	Continuous	(Communauté métropolitaine de Montréal, 2022)	Yes		
	Minimize combined sewer overflows	0.102	Priority level of urban drainage basin	Yes	Categories	6 categories	Discreet	Niveau de priorité des bassins versants urbains*	No		
Total	10 fundamental objectives	22 sub-objectives				33 attributes		23 unique datasets			

\* Unpublished data

<sup>1</sup> Most attribute datasets are only available in French<sup>2</sup> Census data table was joined to census geography for geovisualization<sup>3</sup> The methodology from Fondation David Suzuki (2022) was applied to generate the functional diversity index

## **S-3.6.2 Results**

### **S-3.6.2.1 Objective hierarchy development process overview**

Over the course of the masterlist and hierarchy co-construction process, we considered a total of 49 objectives (Figure S-10 and Table S-7). Most of these objectives were first identified within the literature. Objectives that were added just before the workshop were added because of the validation of the masterlist with the experts. Objectives 35 and 49 were the only objectives that were added as a result of the co-creation workshop. To keep the hierarchy concise and avoid redundancies and dependence, multiple objectives were combined (Eisenführ et al., 2010; Marttunen et al., 2019). Objectives 7, 10 and 15 we initially identified in the literature were removed because they corresponded to fundamental objectives we later identified through the means-ends network; thus, they were presented as such during the co-creation workshops. Multiple objectives were also removed because we could not spatially represent them.

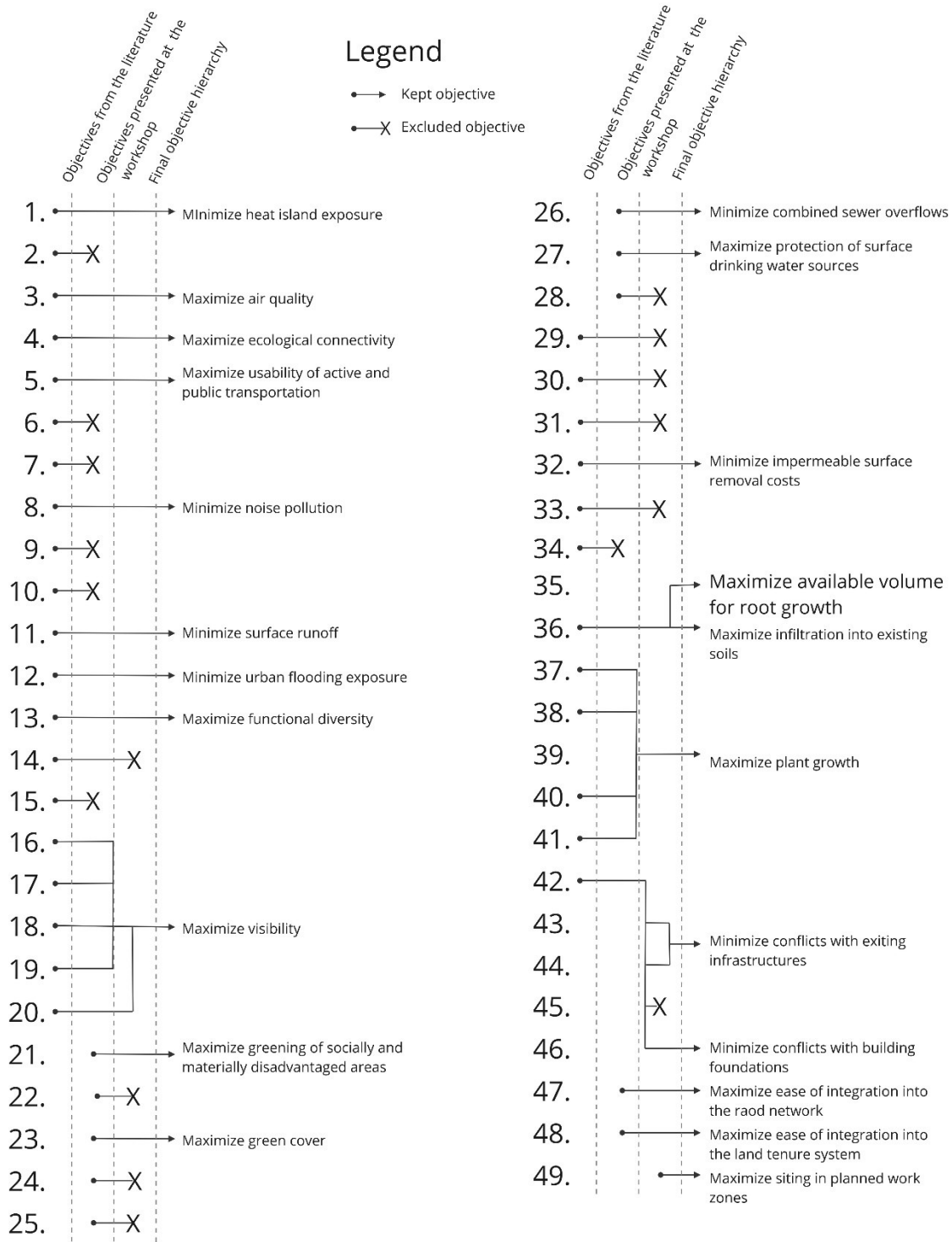


Figure S-10 – Chronology of the objective hierarchy construction. A list of all objectives assessed, and their ID is presented in Table S-7.

Table S-7– List of all considered objectives during masterlist and co-creation workshops. IDs are used in conjunction with the chronology presented in Figure S-10 – Chronology of the objective hierarchy construction. A list of all objectives assessed, and their ID is presented in

Table S-7..

<b>ID</b>	<b>Objective</b>	<b>ID</b>	<b>Objective</b>
1	Minimize heat island exposure	26	Minimize combined sewer overflows
2	Maximize property value	27	Maximize protection of surface drinking water sources
3	Maximize air quality	28	Maximize sites of particular importance for biodiversity
4	Maximize ecological connectivity	29	Minimize flooding of planting pits
5	Maximize usability of active and public transportation	30	Minimize land acquisition costs
6	Maximize security	31	Maximize irrigation
7	Maximize equitable distribution of canopy cover	32	Minimize impermeable surface removal costs
8	Minimize noise pollution	33	Maximize area identity
9	Maximize soil stabilization	34	Maximize social acceptability
10	Maximize population health	35	Maximize available volume for root growth
11	Minimize surface runoff	36	Maximize infiltration into existing soils
12	Minimize urban flooding exposure	37	Maximize growth through adequate sunlight
13	Maximize functional diversity	38	Maximize growth with good air quality
14	Maximize wildlife habitat quality	39	Maximize plant growth
15	Maximize water quality	40	Maximize growth with adequate temperature
16	Maximize social cohesion	41	Maximize growth through appropriate land uses
17	Maximize environmental education	42	Minimize conflicts with functional street amenities
18	Maximize visibility	43	Minimize conflicts with existing infrastructures
19	Maximize siting in densely populated areas	44	Minimize conflicts with underground and overhead infrastructure
20	Maximize access to green spaces	45	Minimize conflicts with existing street furniture
21	Maximize greening of socially and materially disadvantaged areas	46	Minimize conflicts with building foundations
22	Minimize pollution near industrial zones	47	Maximize ease of integration into the road network
23	Maximize vegetation cover	48	Maximize ease of integration into the land tenure system
24	Maximize pollinator support	49	Maximize siting in planned work zones
25	Maximize habitat creation		

## 4 Discussion conclusive

L'urbanisation et les changements climatiques constituent des défis majeurs pour les villes. Étant donné le rôle crucial des villes dans l'adaptation aux changements climatiques (Hunt et Watkiss, 2011), il est essentiel qu'elles disposent des outils et des connaissances nécessaires pour atteindre leurs objectifs. Actuellement, lors de l'élaboration de plans visant à tirer parti des services écosystémiques grâce à des infrastructures vertes, les villes ne considèrent qu'un nombre restreint de bénéfices, négligeant ainsi d'autres aspects (Hoover et al., 2023).

Ce mémoire proposait un OAP basé sur les SIG et l'analyse multicritère afin de planifier stratégiquement la plantation des futurs arbres en contexte urbain, prenant ainsi en compte une vaste gamme d'objectifs de planification. Cette analyse prenait en compte deux perspectives de la planification de la plantation des arbres, c'est-à-dire les caractéristiques d'un site potentiel qui facilitent l'implantation optimale des arbres et les caractéristiques qui optimisent la localisation selon les besoins perçus sur le territoire. La pertinence de ces outils dans le domaine de l'urbanisme est un sujet d'actualité, enrichi par un solide fondement théorique en planification, ce qui en fait un sujet d'étude captivant pour l'avancement des connaissances dans ce domaine.

Dans un deuxième temps, ce mémoire posait l'hypothèse qu'une approche stratégique à la planification des arbres permettrait de cibler des sites de plantation différents de ceux actuellement représentés aux documents de planification de trois arrondissements de la ville de Montréal. De plus, le projet de recherche posait l'hypothèse que cette différence entre les sites de plantation pourrait être expliquée par une comparaison plus en détail des objectifs qui constituent le modèle de priorisation spatiale. Ceci est un premier pas vers une caractérisation plus en profondeur de la valeur ajoutée de l'approche stratégique à la planification des arbres (Pelzer et al., 2014; te Brömmelstroet, 2017).

Les résultats de ce mémoire permettent d'affirmer qu'il existe une importante différence entre la répartition spatiale des sites de plantation stratégiques tels qu'ils sont déterminés par l'OAP et des sites de plantation qui sont planifiés par la ville. Après examen des documents de planification des arbres urbains dans trois arrondissements, nous trouvons que ces derniers planifient leurs

plantations d'arbres futurs en privilégiant des critères techniques, affirmant qu'ils contribueront à améliorer la santé publique, mais sans prendre pleinement en compte cet aspect. Ceci rejoint les conclusions d'autres auteurs dans la littérature scientifique, qui constataient une concentration des plans de gestion des forêts urbaines canadienne sur des enjeux techniques, mais rarement sociaux (Ordóñez et Duinker, 2013). Ainsi, la méthode employée par les arrondissements répond de façon moins directe à leurs cibles d'adaptation climatique puisqu'elle mène à l'allocation des arbres – et des bénéfiques qu'ils génèrent – sur des localisations qui n'en feront pas une utilisation optimale. Cela peut notamment contribuer à perpétuer les inégalités territoriales existantes (Garrison, 2019; Hoover et al., 2021; Pham et al., 2012).

Également, l'absence de sites ayant obtenu un score de 1 souligne la complexité de la plantation stratégique des arbres, indiquant qu'il n'existe pas d'emplacements parfaitement stratégiques, et que des compromis doivent être faits pour tous les sites dans notre zone d'étude.

#### **4.1 Performance des objectifs intermédiaires**

Une analyse comparative plus approfondie des objectifs intermédiaires de l'approche stratégique permet de mieux comprendre les similitudes et les différences entre les deux méthodes de priorisation. Cela permet de nuancer certains résultats et de mieux évaluer la performance individuelle des objectifs par rapport aux phénomènes qu'ils sont censés représenter et leur influence sur le score stratégique calculé.

L'analyse comparative effectuée sur les objectifs intermédiaires permet de constater des priorisations de sites variant de similaires à dissemblables. Le pourcentage de superposition (colonne Overlap; Table 2) élevé d'un objectif indique que les meilleurs emplacements priorisés pour cet objectif par notre modèle sont essentiellement les mêmes emplacements où les arrondissements ont planifié de planter des arbres. À l'inverse, lorsque le pourcentage de superposition est faible (colonne Overlap; Table 2), cela indique que les meilleurs emplacements priorisés par notre modèle ne correspondent pas aux emplacements où les arrondissements ont planifié de planter des arbres.

Les objectifs *Maximize protection of surface drinking water sources* (superposition : 94%-100%), *Maximize ecological connectivity* (superposition : 69%-100%) et *Minimize combined sewer overflows* (superposition : 74%-100%) caractérisent des objectifs pour lesquels le pourcentage de superposition est très élevé. Toutefois, ces objectifs démontrent également de très faibles écarts-types (colonnes sd\_BS et sd\_FS; Table 2). Cela indique généralement qu'il y a beaucoup de pixels avec le même score sur la carte, et par conséquent peu de variabilité spatiale. Par exemple, les polygones générés pour l'attribut de l'objectif *Minimize combined sewer overflows* sont de la même taille, voire plus grand, que les arrondissements analysés. Comme chaque polygone représente une valeur de l'attribut, l'arrondissement se voit assigner la même valeur sur presque l'entièreté de son territoire, ce qui ne permet pas de discriminer entre les sites selon leur capacité à minimiser les surverses. Le même phénomène se produit pour les objectifs *Maximize ecological connectivity* et *Maximize protection of surface drinking water sources*. Cela indique qu'il serait important, dans le futur, de modifier l'échelle spatiale de l'attribut associée à ces objectifs afin de générer une plus grande variabilité spatiale à l'échelle des arrondissements. Une plus grande variation spatiale implique que toutes les valeurs théoriques possibles de l'attribut soient représentées à l'intérieur d'un arrondissement. Par exemple, les 6 catégories de l'attribut de l'objectif *Minimize combined sewer overflows* (colonne Range; Table S-6) devraient être représentées à l'intérieur d'un seul arrondissement. Ainsi il sera possible de discriminer entre des sites pour l'implantation des arbres.

L'objectif *Minimize conflicts with existing infrastructure* est l'objectif qui démontre le moins de superposition (3%-4%). Comme discuté à la section 3.4.3, ce résultat doit également être interprété avec précaution puisqu'il existe un écart d'échelle entre l'approche adoptée par les arrondissements et l'approche employée dans notre modèle stratégique qui influence l'interprétation des résultats. Cela indique que notre outil n'est pas présentement capable de représenter les choix qui seraient faits par les professionnels des arrondissements en ce qui a trait à la localisation des sites de plantation d'arbres afin de minimiser les conflits potentiels avec les infrastructures en place. Par conséquent, ces sites sont moins bien notés qu'ils ne le devraient dans l'approche stratégique, ce qui pourrait avoir comme conséquence de négliger des sites potentiellement propices pour la plantation stratégique. Il est donc nécessaire de retravailler

l'attribut utilisé pour cet objectif. Une solution potentielle est d'utiliser un proxy. Par exemple, s'il existe une corrélation entre le type de route et la densité d'infrastructures qui peuvent causer des conflits avec les arbres, le type de route pourrait être utilisé comme attribut catégorique. Une autre option pourrait être d'utiliser un attribut continu, par exemple en déterminant le pourcentage d'espace disponible pour la plantation des arbres par pixel en utilisant les distances séparatrices aux infrastructures issues de la réglementation de chaque arrondissement. Modifier l'attribut implique également de refaire l'échelle de valeurs qui y est associée.

L'objectif *Maximize functional diversity* démontre également un faible pourcentage de superposition (3%-8%). Ceci est particulièrement surprenant étant donné que la diversité fonctionnelle à Montréal est limitée en raison de la domination d'un petit nombre d'espèces qui composent la forêt en domaine public (Hutt-Taylor et Ziter, 2022; Paquette et al., 2021). Il serait donc attendu d'avoir un haut taux de superposition entre les sites priorisés par le modèle et les sites où les arrondissements planifient planter des arbres. De plus, l'histogramme des scores des pixels pour cet objectif dans l'arrondissement A (Figure 11) indique que les scores sont élevés avec une prépondérance des très hauts scores, ce qui concorde avec les études de Hutt-Taylor et Ziter (2022) et de Paquette et al. (2021). Ceci se remarque également pour la moyenne des scores calculés pour les pixels où les arrondissements planifient des arbres (colonne BS; Table 2) qui varie entre 0,82 et 0,85, soit de hauts scores. Or, l'indice de diversité fonctionnelle est d'abord calculé à une échelle de 250 mètres par 250 mètres (Fondation David Suzuki, 2022). Notre modèle redivise ces pixels à une échelle de 20 mètres par 20 mètres, ce qui a pour effet de créer plusieurs pixels dont le score est identique. On constate un effet de courtepoinette résultant du regroupement en bloc des pixels similaires, soit de larges carrés de même valeur (Figure 11). Il en résulte un plus grand nombre de pixels avec un score de 1 qu'il n'y a de sites de plantation planifiés par l'arrondissement (c'est-à-dire le nombre de pixels qui sont comparés dans l'analyse) ce qui implique que tous les pixels ayant un score inférieur à 1 ne sont pas représentés dans l'analyse comparative. Or, dans les faits, les sites de plantation planifiés par l'arrondissement peuvent également se retrouver dans des zones où la diversité fonctionnelle est faible – donc de hauts scores– mais sont éclipsés par le nombre important de pixels de très haute valeur (Figure 11). Cet effet est une limite de la méthode de comparaison utilisée, car elle repose sur un

nombre fixe de pixels, déterminé par le nombre de pixels contenant des sites de plantation planifiés dans chaque arrondissement (variable  $n$ ; Table 2). Cependant, il convient de noter que cette limite n'affecte pas la validité de la combinaison des différents objectifs dans l'approche stratégique, puisque cette limite s'applique à la méthode de comparaison et non à l'attribut utilisé.

Également, l'objectif *Maximize functional diversity* ne considère que les arbres qui sont inventoriés par l'arrondissement, soit les arbres sur le domaine public. Puisque certaines études ont démontré que les arbres présents sur le domaine privé présentent plus de diversité que ceux sur le domaine public (Hutt-Taylor et Ziter, 2022; Paquette et al., 2021), une prise en compte des arbres privés pourrait augmenter l'indice de diversité fonctionnelle, et diminuer la priorité de certains sites. Cette prise en compte des arbres en domaine privé pourrait permettre de mieux représenter la diversité fonctionnelle existante et pourrait permettre d'analyser cet objectif sans rencontrer la limite de notre méthode de comparaison.

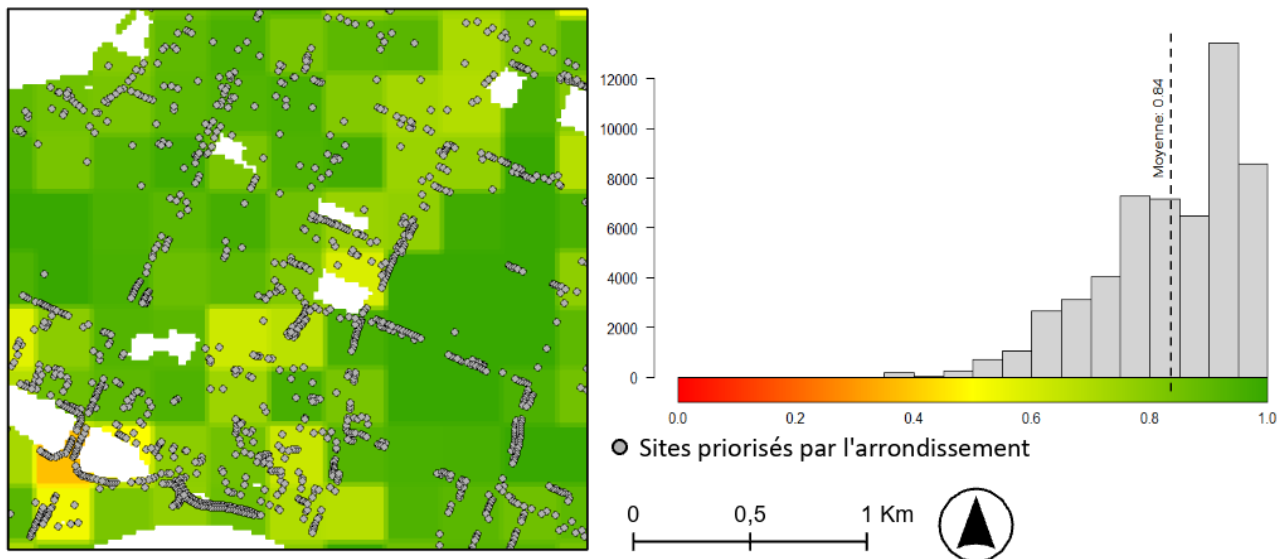


Figure 11 – Objectif *Maximize functional diversity* dans l'arrondissement AC. Gauche : carte d'un secteur de l'arrondissement montrant l'effet de courbepointe et les sites priorités par l'arrondissement. Droite : histogramme des scores pour l'objectif dans l'arrondissement.

Il est également surprenant de constater une dissemblance entre les sites priorités par les arrondissements et les sites priorités pour l'objectif *Minimize surface runoff* (superposition : 4%-7%) puisque les sites priorités par les arrondissements sont en bordure de route, donc à proximité

de surfaces minéralisées. Cependant, à l’instar de l’objectif *Maximize functional diversity*, il s’agit d’un effet causé par la limite de la méthode de comparaison employée, basée sur un nombre fixe de pixels dans chaque arrondissement (variable  $n$ ; Table 2). Ainsi, une situation similaire dans laquelle le nombre de pixels présentant un score élevé surpasse de beaucoup le nombre de pixels utilisé pour l’analyse comparative. L’histogramme des scores de l’objectif *Minimize surface runoff* pour l’arrondissement A démontrent que les pixels ayant obtenu un score de 1 dominent par rapport aux scores inférieurs (Figure 12). Contrairement à l’explication pour l’objectif *Maximize functional diversity*, l’objectif *Minimize surface runoff* est mesuré à la résolution de 1 mètre par 1 mètre. La forte dissemblance constatée n’est donc pas induite par un changement d’échelle, mais elle est plutôt le résultat d’une différence dans les méthodes de priorisation. Une potentielle explication est que les abords des routes comportent aussi des éléments de verdure tels que des arbres et du gazon, ce qui réduit le pourcentage de surface imperméable dans ces pixels. Les sites les plus minéralisés en milieu urbain sont plutôt situés dans les secteurs commerciaux et industriels en raison des larges surfaces dédiées au stationnement (Arnold Jr. et Gibbons, 1996; D. Lu et Weng, 2006; Van de Voorde et al., 2011). La différence entre le score moyen calculé pour les pixels où des sites de plantation sont planifiés par les arrondissements et les meilleurs sites priorisés par notre modèle (colonne FS-BS; Table 2), montre plutôt que les sites priorisés par les

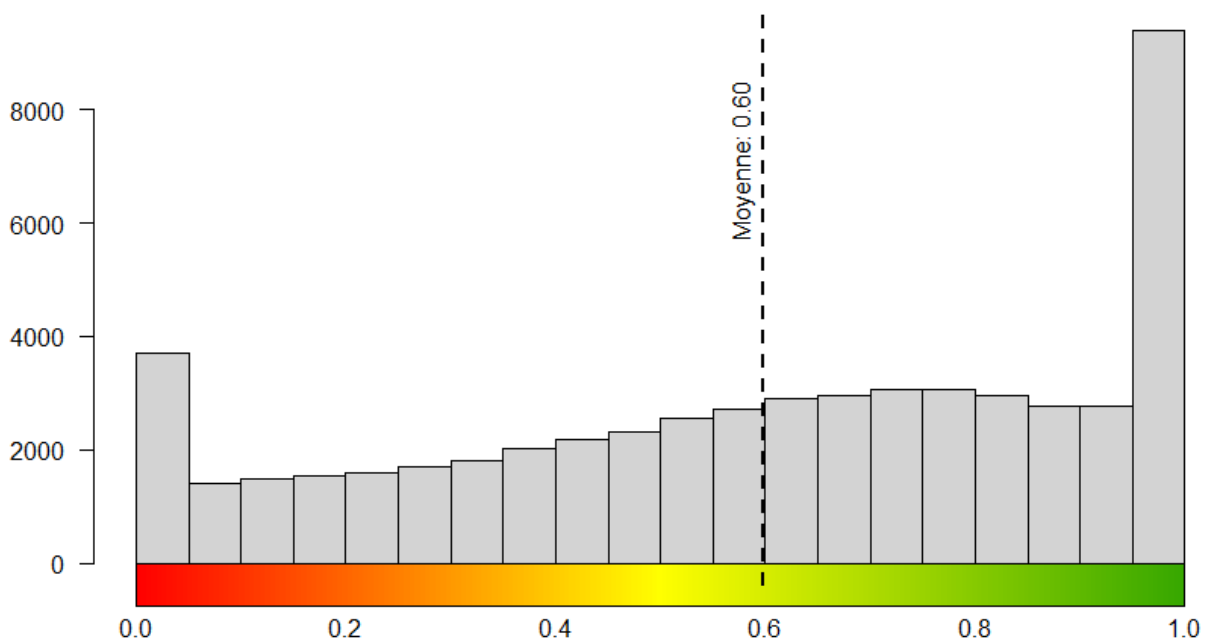


Figure 12 – Histogramme de l’objectif *Minimize surface runoff* pour l’arrondissement AC

arrondissements ne sont tout simplement pas les plus minéralisés. Cet objectif est donc adéquatement représenté par notre modèle.

## **4.2 Performance des objectifs fondamentaux**

Les faibles pourcentages de superposition obtenus pour chacun des cinq objectifs fondamentaux de la perspective des besoins (*Maximize population health, Maximize territorial equity, Maximize climate change adaptation, Maximize biodiversity* et *Maximize protection of water resources*) indiquent que les arbres planifiés par les arrondissements ne concordent pas avec les emplacements priorités par notre modèle afin de générer des bénéfices. Ceci témoigne notamment de la planification complexe que doivent effectuer les planificateurs lorsqu'ils veulent produire des services écologiques au bénéfice des populations locales et pourrait expliquer pourquoi un important corpus d'outils de priorisation spatiale basé sur l'optimisation des bénéfices a vu le jour dans la littérature scientifique (p. ex : Bodnaruk et al., 2017; Liu, 2018; D. Locke et al., 2010; D. H. Locke et al., 2013; Nyelele et Kroll, 2021; Sass et al., 2019; Sousa-Silva et al., 2021; Wilson et Lindsey, 2009).

## **4.3 Limites du modèle stratégique et recherche future**

Le modèle stratégique développé dans ce mémoire comporte certaines limites qui doivent être prises en compte afin de bien interpréter ses résultats. Par exemple, l'outil, bien qu'il détermine un score pour chaque cellule, ne permet pas de représenter la contribution de chaque objectif à ce score. Par exemple, il n'est pas simple de savoir quelle est la contribution de chaque objectif au score stratégique, et extraire ces données requiert de nombreuses manipulations. Ainsi un pixel pourrait se voir attribuer un haut score parce qu'il performe bien pour un seul objectif hautement pondéré tandis qu'un autre pixel pourrait obtenir un haut score parce qu'il performe bien pour plusieurs objectifs faiblement pondérés.

Le modèle stratégique développé est également limité du fait qu'il ne prend pas en compte la productivité marginale décroissante des services rendus par les arbres lorsqu'ils sont plantés pour répondre à certains objectifs (Netusil et al., 2010; Pandit et al., 2014). Par exemple, Zölch et al. (2016) ont démontré que l'augmentation de l'indice de canopée de 6% à 22% augmentait le

confort thermique de 10% tandis qu'une augmentation de 6% à 34% l'augmentait de 13%. Ainsi, le planificateur pourrait considérer qu'il serait plus efficace de planter des arbres dans des secteurs où les objectifs permettent de générer des bénéfices additionnels par synergie, ou de prioriser des objectifs selon leur rendement marginal. Or, la proximité d'autres arbres ou d'IV n'est pas un élément pris en compte dans notre analyse puisqu'il est transversal à plusieurs objectifs.

Finalement, notre modèle incorpore des objectifs reliés à la performance des arbres et plus précisément, à la croissance des jeunes arbres. Or, les jeunes arbres en milieu urbain sont sujets à de hauts taux de mortalité et requièrent également des soins de croissance tels qu'être irrigués et fertilisés afin de croître adéquatement (J. Lu et al., 2011; Nowak et al., 2004; Riikonen, 2016). Notre modèle suppose que les bénéfices rendus sont générés par des arbres adultes ou matures plutôt que des jeunes arbres fraîchement plantés. La taille des arbres à maturité influence considérablement leur capacité à générer des bénéfices (Gregory McPherson, 1992; Nowak et Crane, 2002; Riikonen, 2016). Par conséquent, puisque la croissance peut être influencée par des facteurs qui ne pouvaient pas être pris en compte dans notre modèle, il en résulte également que les services ultimement rendus seront également influencés par ces facteurs externes.

Les projets de recherche futurs devraient se concentrer sur l'évaluation des bénéfices rendus par les arbres lorsqu'ils sont planifiés de façon stratégique et comparer ces bénéfices à ceux des arbres planifiés par les arrondissements. Ceci permettrait de répondre à un manque dans la littérature sur le lien entre la méthode de planification des arbres urbains et les bénéfices rendus à la population.

#### **4.4 Apprentissages pour les planificateurs**

Quels sont les apprentissages résultants du développement de l'OAP et de l'analyse réalisée dans ce mémoire? Comme le montre notre analyse, l'utilisation de notre outil permet aux planificateurs de considérer des sites de plantation qu'ils n'auraient pas considérés autrement afin de mettre en œuvre leurs objectifs de plantation, tout en étant plus explicites envers leurs engagements pour l'amélioration du bien-être et l'adaptation climatique de la population par une approche stratégique. De plus, l'OAP développée inclut un large éventail d'objectifs de

planification pondérés de façon à rendre compte des préférences des parties prenantes. Cette approche pourrait éventuellement permettre aux planificateurs d’explorer davantage de sites qu’ils n’auraient pas autrement considérés pour la plantation d’arbres et ainsi innover en matière de planification.

Cela étant dit, la méthodologie adoptée par les arrondissements afin de prioriser les sites de plantation sur leur territoire s’applique uniquement aux terrains publics sous leur compétence administrative, soit l’emprise de la route et les parcs publics<sup>1</sup>. En ce sens, cette approche relève d’une autre stratégie que celle adoptée par notre outil, puisqu’elle cible les sites de plantation qui sont les plus simples à opérationnaliser pour l’arrondissement : ceux sur lesquels elles ont plein pouvoir d’action. En raison du manque de données permettant de définir précisément le domaine privé et le domaine public, notre approche de priorisation s’applique plutôt à l’échelle du territoire en entier. La différence entre les sites priorisés par les deux approches permet de tirer un constat important : certains sites, non inclus dans la planification actuelle des arrondissements, présentent un excellent potentiel pour la plantation stratégique selon le modèle développé dans ce mémoire. Comme il n’existe pas de document de planification des arbres pour le domaine privé, il n’est pas possible de déterminer les plans des acteurs privés pour leurs lots. Or, cela indique notamment que les arrondissements pourraient tirer avantage d’une planification qui prend en compte à la fois le domaine public et le domaine privé.

Dans un premier temps, il est aisé pour les arrondissements de planifier les arbres sur le domaine public en raison de leur capacité légale d’intervention. Cependant, la gouvernance du domaine public à Montréal est fragmentée entre plusieurs niveaux de compétences. Par exemple, les rues locales sont sous la responsabilité des arrondissements, tandis que les artères majeures tombent sous la responsabilité de la ville centre et les autoroutes et routes numérotées, sous la responsabilité du gouvernement provincial. Une fragmentation similaire de la gouvernance s’observe entre les différents parcs de la ville. Cette fragmentation des compétences pourrait être un frein à la planification et à la plantation en terrain public.

---

<sup>1</sup> Les parcs ne font pas partie de l’analyse réalisée dans ce mémoire, mais sont considérés par les arrondissements dans une section à part entière de leur plan maître de plantation.

Dans un deuxième temps, afin de planifier stratégiquement les arbres sur le domaine privé, les municipalités doivent adopter des politiques et des règlements qui encouragent la plantation sur les terrains privés ou se doter de pouvoirs additionnels qui leur permettraient d'intervenir directement sur ces terrains. Encourager la plantation sur les terrains privés par voie de politique ou de réglementation est particulièrement intéressant étant donné que les arbres que l'on retrouve sur les terrains privés montréalais sont généralement des espèces qui sont moins représentées et possèdent davantage de traits fonctionnels associés aux bénéfices appréciés par la population que les arbres plantés en bordure des routes (Hutt-Taylor et Ziter, 2022; Sousa-Silva et al., 2023). Ainsi, enrôler des acteurs privés, qui font leurs propres choix d'aménagement paysager, pourrait permettre de diversifier la forêt urbaine et générer des bénéfices importants pour les populations locales (Hutt-Taylor et Ziter, 2022).

Or, tels que le préconisent certains auteurs ayant discuté de l'utilisation des OAP, les extraits de l'outil lui-même – les cartes – ne constituent pas un exercice de planification, et sont plutôt des supports afin d'entamer un dialogue avec les parties prenantes (Lin et Geertman, 2015; Mackenzie et al., 2006). Bien que ce mémoire s'intéresse principalement à l'aspect d'analyse des OAP, basé sur la rationalité instrumentale, utiliser un tel outil à des fins de communication et de partage de l'information est une avenue prometteuse pour l'adaptation climatique des villes en contexte québécois. Le véritable exercice de planification s'exécute par débat et négociation, ce qui ne devrait pas être remplacé par l'unique utilisation de l'outil, bien que ceux-ci puissent en faire partie (Hajkowicz, 2008). C'est également dans ce contexte que l'outil peut véritablement aider à faire face aux caractéristiques de problème pernicieux de la planification des arbres. Dans cet ordre d'idée, les sites alternatifs priorisés par l'outil servent de base commune pour entamer un processus de planification engageant significativement les parties prenantes (Flacke et al., 2020) et facilitent l'innovation sociale nécessaire pour adapter nos villes aux changements climatiques (Brokking et al., 2021; Raymond et al., 2017).

Cependant, la construction de l'outil demande une contribution non négligeable de toutes les parties impliquées. Outre la construction même de l'outil, sa maintenance demeure un exercice chronophage pour les planificateurs. En ce sens, une critique similaire à celle formulée par Lindblom (1959) à l'endroit de la planification rationnelle globale peut être formulée par rapport

à l'outil : les préférences ne sont pas constantes temporellement ni spatialement. Cela implique, en premier lieu, de ponctuellement allouer des ressources à l'actualisation des préférences des parties prenantes. Qui plus est, ces préférences peuvent être variables spatialement, c'est-à-dire que des sous-secteurs d'un territoire pourraient exprimer des préférences différentes pour les objectifs de la hiérarchie en raison de plusieurs facteurs sociodémographiques, par exemple leur culture et leur niveau d'éducation (Greene et al., 2011; Su et al., 2022). Cependant, comme le montrent les démarches entreprises dans ce mémoire, bien que le développement de l'outil puisse parfois requérir la production de données spatiales inédites, le maintien et l'actualisation des données spatiales sont réalisés couramment par les villes qui mettent plusieurs jeux de données spatiaux à la disposition de la population. Ainsi, la mise à niveau des jeux de données spatiaux pourrait naturellement être mise à profit pour la maintenance de l'outil.

Il convient également de mentionner qu'il existe une certaine dissidence entre la performance de l'outil et l'inclusion des parties prenantes à l'étape de l'élaboration de la hiérarchie des objectifs de planification. La méthode employée implique que nous ayons réalisé une recension des objectifs de planification potentiels à l'aide de la littérature scientifique et grise afin de proposer une liste d'objectifs aux parties prenantes. Or, le choix final de la forme et du contenu de la hiérarchie d'objectifs est imposé par les parties prenantes et influence directement les attributs sélectionnés pour représenter ces objectifs. Le développement de l'outil doit donc avoir lieu entre ces choix imposés par la participation des parties prenantes et les données disponibles pour faire fonctionner l'outil. Afin de respecter les règles de l'art en analyse multicritère, il faut également éviter que les attributs soient implicitement pris en compte plusieurs fois par plusieurs objectifs. Il est donc parfois nécessaire de choisir des attributs de substitution (en anglais : *proxies*) qui sont moins représentatifs de la réalité. Cela peut avoir comme impact de réduire la qualité de la modélisation et la précision des résultats obtenus. Par conséquent, il est crucial de trouver un équilibre entre l'intégration des préférences des parties prenantes et la rigueur scientifique pour assurer que les objectifs de planification soient représentés de manière fidèle et efficace.

En conclusion, cette étude met en lumière les apprentissages résultant du développement de l'outil d'analyse présenté dans ce mémoire. D'une part, l'utilisation de cet outil permet aux planificateurs d'explorer des sites de plantation qu'ils n'auraient pas considérés autrement,

facilitant ainsi la mise en œuvre d'objectifs de plantation plus stratégiques en matière d'amélioration du bien-être et d'adaptation climatique. Cependant, il est essentiel de reconnaître que la méthodologie adoptée par les arrondissements pour prioriser les sites de plantation se limite aux terrains publics sous leur compétence, ce qui soulève la nécessité d'une approche plus holistique englobant les terrains privés pour réaliser une planification stratégique des sites de plantation. Encourager la plantation sur ces terrains privés présente un potentiel significatif pour diversifier la forêt urbaine et engendrer des avantages appréciés par la population locale. Par ailleurs, l'utilisation de l'outil d'analyse des OAP ne remplace pas le processus de planification participative et de dialogue avec les parties prenantes, mais il peut servir de base commune pour engager ces discussions de manière significative.

## 5 Conclusion

Ce mémoire portait sur la comparaison entre les sites potentiels de plantation d'arbres tels qu'ils sont planifiés par trois arrondissements de Montréal et les sites de plantation priorités par un OAP permettant une planification stratégique. Pour réaliser cette comparaison, un modèle de priorisation spatiale a été développé en cocréation avec plusieurs parties prenantes. Les meilleurs sites priorités par ce modèle ont été comparés aux sites planifiés dans les plans maîtres de plantation des trois arrondissements.

La comparaison réalisée permet de déterminer que les sites stratégiques sont généralement spatialement distincts des sites priorités par les arrondissements, ce qui indique qu'il existe un potentiel de planter des arbres additionnels sur des sites alternatifs. Une analyse plus en profondeur des objectifs qui composent l'approche stratégique permet de déterminer des améliorations futures possibles. Notamment en modifiant la façon dont le modèle considère l'espace disponible pour la plantation en prenant en compte les infrastructures pouvant causer des conflits avec les arbres et en améliorant la résolution spatiale de certains attributs.

Ce mémoire a permis de produire et de mettre à la disposition des parties prenantes et des municipalités québécoises, un outil d'analyse spatiale de leur territoire afin de déterminer des emplacements stratégiques pour implanter des arbres urbains. Cet outil se formalise sous la forme de cartes faciles d'interprétation qui peuvent aider les planificateurs à communiquer avec les parties prenantes et entamer un processus de planification de la forêt urbaine. D'un point de vue de la planification, ces cartes agissent comme un outil de discussion et s'inscrivent dans le mouvement de la planification participative et communicative en urbanisme.

Les projets de recherche futurs pourraient davantage étudier la planification stratégique en évaluant les bénéfices rendus par les arbres lorsqu'ils sont planifiés de façon stratégique et les comparer aux bénéfices rendus par les arbres planifiés par les arrondissements. Également, les projets futurs pourraient s'intéresser sur l'apport de l'outil développé aux processus de planification participative en utilisant l'outil dans le contexte d'un projet de planification urbaine.

## 6 Références bibliographiques

- Alexander, C. (1967). A City Is Not a Tree. *Ekistics*, 23(139), 344-348.
- Alexander, E. R. (2000). Rationality Revisited: Planning Paradigms in a Post-Postmodernist Perspective. *Journal of Planning Education and Research*, 19(3), 242-256.  
<https://doi.org/10.1177/0739456X0001900303>
- Almeter, A., Tashie, A., Procter, A., McAlexander, T., Browning, D., Rudder, C., Jackson, L. et Araujo, R. (2018). A Needs-Driven, Multi-Objective Approach to Allocate Urban Ecosystem Services from 10,000 Trees. *Sustainability*, 10(12), 4488.  
<https://doi.org/10.3390/su10124488>
- Amir, S. et Misgav, A. (1990). A framework for street tree planning in urban areas in Israel. *Landscape and Urban Planning*, 19(3), 203-212. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(90\)90022-T](https://doi.org/10.1016/0169-2046(90)90022-T)
- Angelovski, I. (2016). From Toxic Sites to Parks as (Green) LULUs? New Challenges of Inequity, Privilege, Gentrification, and Exclusion for Urban Environmental Justice. *Journal of Planning Literature*, 31, 23-36. <https://doi.org/10.1177/0885412215610491>
- Arnold Jr., C. L. et Gibbons, C. J. (1996). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62(2), 243-258.  
<https://doi.org/10.1080/01944369608975688>
- Ashfield Council. (2015). PART B - Street Tree Management Guidelines & Policies - Ashfield Street Tree Strategy 2015.  
<https://www.innerwest.nsw.gov.au/ArticleDocuments/1040/Street%20Tree%20Strategy%20-%20Ashfield%20-%20Part%20B%20-%20Street%20tree%20management%20guidelines%20and%20policies.pdf.aspx>
- Aubert, A. H. et Masson, A. (2021). Software to elicit weights for Multi-Criteria Decision Analysis. <https://doi.org/10.25678/00056J>
- Banville, C., Landry, M., Martel, J.-M. et Boulaire, C. (1998). A stakeholder approach to MCDA. *Systems Research and Behavioral Science*, 15(1), 15-32.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1743\(199801/02\)15:1<15::AID-SRES179>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1743(199801/02)15:1<15::AID-SRES179>3.0.CO;2-B)
- Bassuk, N. (2017). Site assessment: The key to sustainable urban landscape establishment. Dans *Routledge Handbook of Urban Forestry*. Routledge.

- Battaglia, M., Buckley, G., Galvin, M. et Grove, M. (2014). It's Not Easy Going Green: Obstacles to Tree-Planting Programs in East Baltimore. *Cities and the Environment (CATE)*, 7(2). <https://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol7/iss2/6>
- Bellingham Parks & Recreations staff. (s. d.). City of Bellingham Tree Planting Guide. <https://cob.org/wp-content/uploads/tree-planting-guide.pdf>
- Bodnaruk, E. W., Kroll, C. N., Yang, Y., Hirabayashi, S., Nowak, D. J. et Endreny, T. A. (2017). Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs. *Landscape and Urban Planning*, 157, 457-467. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.016>
- Bolund, P. et Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Boulanger-Messier, A. et Goyette, A. (2021). *Plan maître de plantation*. Arrondissement de Rosemont-La Petite-Patrie - Direction des travaux publics - Division des parcs et installations. [https://portail-m4s.s3.montreal.ca/pdf/rpp\\_plan\\_maitre\\_de\\_plantation\\_vf.pdf](https://portail-m4s.s3.montreal.ca/pdf/rpp_plan_maitre_de_plantation_vf.pdf)
- Bravo-Bello, J. C., Martinez-Trinidad, T., Valdez-Lazalde, J. R., Romero-Sanchez, M. E. et Martinez-Trinidad, S. (2020). Analyzing Potential Tree-Planting Sites and Tree Coverage in Mexico City Using Satellite Imagery, 12.
- Brokking, P., Mörtberg, U. et Balfors, B. (2021). Municipal Practices for Integrated Planning of Nature-Based Solutions in Urban Development in the Stockholm Region. *Sustainability*, 13(18), 10389. <https://doi.org/10.3390/su131810389>
- Brzoska, P. et Späße, A. (2020). From City- to Site-Dimension: Assessing the Urban Ecosystem Services of Different Types of Green Infrastructure. *Land*, 9(5), 150. <https://doi.org/10.3390/land9050150>
- Bush, J. et Hes, D. (2018). Urban Green Space in the Transition to the Eco-City: Policies, Multifunctionality and Narrative. Dans D. Hes et J. Bush (dir.), *Enabling Eco-Cities: Defining, Planning, and Creating a Thriving Future* (p. 43-63). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7320-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7320-5_4)
- Cabinet de la mairesse et du comité exécutif. (2022, 30 septembre). *La Ville de Montréal dévoile son bilan du programme de la forêt urbaine pour l'année 2021* [web page]. Ville de Montréal. Ville de Montréal. [https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=5798,42657625&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&id=34635](https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=5798,42657625&_dad=portal&_schema=PORTAL&id=34635)
- Camhis, M. (1979). *Planning Theory and Philosophy*. Travistock Publications Ltd.

- Campbell, S. (1996). Green Cities, Growing Cities, Just Cities?: Urban Planning and the Contradictions of Sustainable Development. *Journal of the American Planning Association*, 62(3), 296-312. <https://doi.org/10.1080/01944369608975696>
- Chapman, S., Watson, J. E. M., Salazar, A., Thatcher, M. et McAlpine, C. A. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*, 32(10), 1921-1935. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>
- Chen, W. Y. et Jim, C. Y. (2008). Assessment and Valuation of the Ecosystem Services Provided by Urban Forests. Dans M. M. Carreiro, Y.-C. Song et J. Wu (dir.), *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives* (p. 53-83). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71425-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71425-7_5)
- Christman, Z., Meenar, M., Mandarano, L. et Hearing, K. (2018). Prioritizing Suitable Locations for Green Stormwater Infrastructure Based on Social Factors in Philadelphia. *Land*, 7(4), 145. <https://doi.org/10.3390/land7040145>
- Cimburova, Z. et Berghauer Pont, M. (2021). Location matters. A systematic review of spatial contextual factors mediating ecosystem services of urban trees. *Ecosystem Services*, 50, 101296. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101296>
- Commission géologique du Canada. (2016a). Courbes de l'épaisseur des dépôts meubles - Carte géoréférencée [JPEG]. Données ouvertes de la Ville de Montréal.
- Commission géologique du Canada. (2016b). Géologie des dépôts meubles [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/geologie-des-depots-meubles#data>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2022). Indice de canopée métropolitain 2021 [Jeu de données spatiales]. Observatoire Grand Montréal. [https://observatoire.cmm.qc.ca/produits/donnees-georeferencees/#indice\\_canopee](https://observatoire.cmm.qc.ca/produits/donnees-georeferencees/#indice_canopee)
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2023). Utilisation du sol 2022 [Jeu de données spatiales]. Observatoire Grand Montréal. <https://observatoire.cmm.qc.ca/produits/donnees-georeferencees/>
- Conway, T. M. et Vander Vecht, J. (2015). Growing a diverse urban forest: Species selection decisions by practitioners planting and supplying trees. *Landscape and Urban Planning*, 138, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.01.007>
- Côté, H., Logan, T. et Charron, I. (2015). *Vers l'adaptation : Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 1 : Évolution climatique au Québec.* (n° Édition 2015). Ouranos.

- Courtois, A. (2023). *Plan maître de plantation de MHM*. Arrondissement de Mercier-Hochelaga-Maisonneuve - Division des parcs et de l'horticulture - Direction des travaux publics.
- Crosetto, M., Tarantola, S. et Saltelli, A. (2000). Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modelling based on GIS. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 81(1), 71-79.  
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00169-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00169-9)
- Dagenais, D., Thomas, I. et Paquette, S. (2017). Siting green stormwater infrastructure in a neighbourhood to maximise secondary benefits: lessons learned from a pilot project. *Landscape Research*, 42(2), 195-210. <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1228861>
- Daniel, C., Morrison, T. H. et Phinn, S. (2016). The governance of private residential land in cities and spatial effects on tree cover. *Environmental Science & Policy*, 62, 79-89.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.015>
- Davidoff, P. (1965). Advocacy and Pluralism in Planning. *Journal of the American Institute of Planners*, 31(4), 331-338. <https://doi.org/10.1080/01944366508978187>
- Davies, H. J., Doick, K. J., Hudson, M. D. et Schreckenber, K. (2017). Challenges for tree officers to enhance the provision of regulating ecosystem services from urban forests. *Environmental Research*, 156, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.020>
- Deal, B., Pan, H., Timm, S. et Pallathucheril, V. (2017). The role of multidirectional temporal analysis in scenario planning exercises and Planning Support Systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 91-102.  
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.004>
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Bhave, A. G., Mittal, N., Feliu, E. et Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146, 107-115.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025>
- Després, C., Vachon, G. et Fortin, A. (2011). Implementing Transdisciplinarity: Architecture and Urban Planning at Work. Dans I. Doucet et N. Janssens (dir.), *Transdisciplinary Knowledge Production in Architecture and Urbanism: Towards Hybrid Modes of Inquiry* (p. 33-49). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0104-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0104-5_3)
- Dong, X., Guo, H. et Zeng, S. (2017). Enhancing future resilience in urban drainage system: Green versus grey infrastructure. *Water Research*, 124, 280-289.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.038>
- Doyon, B., Bélanger, D. et Gosselin, P. (2008). The potential impact of climate change on annual and seasonal mortality for three cities in Québec, Canada. *International Journal of Health Geographics*, 7(1), 23. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-7-23>

- Eisenführ, F., Weber, M. et Langer, T. (2010). *Rational decision making*. Springer.
- Elia, G. et Margherita, A. (2018). Can we solve wicked problems? A conceptual framework and a collective intelligence system to support problem analysis and solution design for complex social issues. *Technological Forecasting and Social Change*, 133, 279-286. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.010>
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K. C. et Wilkinson, C. (dir.). (2013). *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1>
- Ernstson, H. (2013). The social production of ecosystem services: A framework for studying environmental justice and ecological complexity in urbanized landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 109(1), 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.005>
- ESRI Inc. (2022). *ArcGIS Pro (v3.1)*. ESRI Inc. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- Etzioni, A. (1968). *The Active Society*. Collier Macmillan. <https://papers.ssrn.com/abstract=3123112>
- Fainstein, S. S. (2005). Planning Theory and the City. *Journal of Planning Education and Research*, 25(2), 121-130. <https://doi.org/10.1177/0739456X05279275>
- Feldman, M. (1997). Can We Talk? Interpretive Planning Theory as Comedy. *Planning Theory*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Can-We-Talk-Interpretive-Planning-Theory-as-Comedy-Feldman/a8ff319e86add32d82b74139d6e8f9f16546c926>
- Ferretti, V., Bottero, M. et Mondini, G. (2014). Decision making and cultural heritage: An application of the Multi-Attribute Value Theory for the reuse of historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 15(6), 644-655. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.12.007>
- Flacke, J., Shrestha, R. et Aguilar, R. (2020). Strengthening Participation Using Interactive Planning Support Systems: A Systematic Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(1), 49. <https://doi.org/10.3390/ijgi9010049>
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D. et Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

- Foncier Québec. (2021). Polygones des lots officiels [Jeu de données spatiales]. Géoindex.  
<https://geoapp.bibl.ulaval.ca/>
- Fondation David Suzuki. (2022). *Augmenter l'adaptation équitable aux changements climatiques : Scénarisation de la plantation de 500 000 nouveaux arbres sur le territoire de la Ville de Montréal*. <https://davidsuzuki.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/sites/3/2022/11/Scenarisation-de-la-plantation-de-500-000-nouveaux-arbres-sur-le-territoire-de-la-Ville-de-Montreal.pdf>
- Forester, J. (1980). Critical Theory and Planning Practice. *Journal of the American Planning Association*, 46(3), 275-286. <https://doi.org/10.1080/01944368008977043>
- Forester, J. (1982). Planning in the Face of Power. *Journal of the American Planning Association*, 48(1), 67-80. <https://doi.org/10.1080/01944368208976167>
- Fortier, C. et Mailhot, A. (2015). Climate Change Impact on Combined Sewer Overflows. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(5), 04014073.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000468](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000468)
- Françoizo, R. V. et Belderrain, M. C. N. (2022). A problem structuring method framework for value-focused thinking. *EURO Journal on Decision Processes*, 10, 100014.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejdp.2022.100014>
- Friedmann, J. (1965). A Response to Altshuler: Comprehensive Planning As a Process. *Journal of the American Institute of Planners*, 31(3), 195-197.  
<https://doi.org/10.1080/01944366508978166>
- Friedmann, J. (1971). The Future of Comprehensive Urban Planning: A Critique. *Public Administration Review*, 31(3), 315-326. <https://doi.org/10.2307/974890>
- Friedmann, J. (1998). Planning theory revisited. *European Planning Studies*, 6(3), 245-253.  
<https://doi.org/10.1080/09654319808720459>
- Friedmann, J. et Hudson, B. (1974). Knowledge and Action: A Guide to Planning Theory. *Journal of the American Institute of Planners*, 40(1), 2-16.  
<https://doi.org/10.1080/01944367408977442>
- Fryd, O., Jensen, M. B., Ingvertsen, S. T., Jeppesen, J. et Magid, J. (2010). Doing the first loop of planning for sustainable urban drainage system retrofits: A case study from Odense, Denmark. *Urban Water Journal*, 7(6), 367-378.  
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2010.527352>
- Garrison, J. D. (2019). Seeing the park for the trees: New York's "Million Trees" campaign vs. the deep roots of environmental inequality. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(5), 914-930. <https://doi.org/10.1177/2399808317737071>

- Gasper, R., Blohm, A. et Ruth, M. (2011). Social and economic impacts of climate change on the urban environment. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.009>
- Geertman, S. (2006). Potentials for Planning Support: A Planning-Conceptual Approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(6), 863-880. <https://doi.org/10.1068/b31129>
- Geertman, S. (2017). PSS: Beyond the implementation gap. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 104, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.016>
- Geertman, S. et Stillwell, J. (2004). Planning support systems: an inventory of current practice. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(4), 291-310. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(03\)00024-3](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(03)00024-3)
- Geertman, S. et Stillwell, J. (2020). Planning support science: Developments and challenges. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(8), 1326-1342. <https://doi.org/10.1177/2399808320936277>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R. et Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115-133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Goodspeed, R. (2016). Sketching and learning: A planning support system field study. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 43(3), 444-463. <https://doi.org/10.1177/0265813515614665>
- Gouvernement du Canada. (2021, 16 décembre). *Programme 2 milliards d'arbres*. <https://www.canada.ca/fr/campagne/2-milliards-arbres/programme-2-milliards-darbres.html>
- Government of Québec. (2023, 1 juin). *Charter of Ville de Montréal, metropolis of Québec*. CanLII. <https://canlii.ca/t/xlh>
- Greene, C. S., Millward, A. A. et Ceh, B. (2011). Who is likely to plant a tree? The use of public socio-demographic data to characterize client participants in a private urban forestation program. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(1), 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.11.004>
- Gregory McPherson, E. (1992). Accounting for benefits and costs of urban greenspace. *Landscape and Urban Planning*, 22(1), 41-51. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(92\)90006-L](https://doi.org/10.1016/0169-2046(92)90006-L)

- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T. et Ohlson, D. (2012). *Structured decision making: a practical guide to environmental management choices*. Wiley-Blackwell. <http://site.ebrary.com/id/10538655>
- Grove, J. M., Troy, A. R., O'Neil-Dunne, J. P. M., Burch, W. R., Cadenasso, M. L. et Pickett, S. T. A. (2006). Characterization of Households and its Implications for the Vegetation of Urban Ecosystems. *Ecosystems*, 9(4), 578-597. <https://doi.org/10.1007/s10021-006-0116-z>
- Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological Bulletin*, 53(4), 267-293. <https://doi.org/10.1037/h0040755>
- Haag, F., Zürcher, S. et Lienert, J. (2019). Enhancing the elicitation of diverse decision objectives for public planning. *European Journal of Operational Research*, 279(3), 912-928. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.06.002>
- Hagemann, F. A., Randrup, T. B. et Sang, Å. O. (2020). Challenges to implementing the urban ecosystem service concept in green infrastructure planning: a view from practitioners in Swedish municipalities. *Socio-Ecological Practice Research*, 2(3), 283-296. <https://doi.org/10.1007/s42532-020-00054-3>
- Hajkovicz, S. A. (2008). Supporting multi-stakeholder environmental decisions. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 607-614. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.020>
- Hall, P. (1983). The Anglo-American Connection: Rival Rationalities in Planning Theory and Practice, 1955–1980. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 10(1), 41-46. <https://doi.org/10.1068/b100041>
- Hämäläinen, R. P. et Alaja, S. (2008). The threat of weighting biases in environmental decision analysis. *ECOLOGICAL ECONOMICS*, 68, 556-569. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.05.025>
- Hartmann, T. et Geertman, S. (2016). Planning theory. Dans *Handbook on Theories of Governance* (p. 61-70). Edward Elgar Publishing. <https://www.elgaronline.com/display/edcoll/9781782548492/9781782548492.00013.xml>
- Head, B. W. (2019). Forty years of wicked problems literature: forging closer links to policy studies. *Policy and Society*, 38(2), 180-197. <https://doi.org/10.1080/14494035.2018.1488797>
- Head, B. W. (2023). Wicked Problems in Public Policy. Dans M. van Gerven, C. Rothmayr Allison et K. Schubert (dir.), *Encyclopedia of Public Policy* (p. 1-8). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90434-0\\_43-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90434-0_43-1)

- Head, B. W. et Alford, J. (2015). Wicked Problems: Implications for Public Policy and Management. *Administration & Society*, 47(6), 711-739.  
<https://doi.org/10.1177/0095399713481601>
- Healey, P. (1992). Planning through Debate: The Communicative Turn in Planning Theory. *The Town Planning Review*, 63(2), 143-162.
- Healey, P. (2006). *Collaborative planning: shaping places in fragmented societies* (2nd ed). Palgrave Macmillan.
- Herzele, A. V. (2014). A Genealogy of Urban Forest Discourse in Flanders. Dans L. A. Sandberg, A. C. Bardekjian et Butt (dir.), *Urban Forests, Trees, and Greenspace: A Political Ecology Perspective* (p. 350). Routledge.  
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315882901-5/genealogy-urban-forest-discourse-flanders-ann-van-herzele?context=ubx&refId=a9d179a9-0180-4435-93b5-a968dacb22bf>
- Hoover, F.-A., Meerow, S., Coleman, E., Grabowski, Z. et McPhearson, T. (2023). Why go green? Comparing rationales and planning criteria for green infrastructure in U.S. city plans. *Landscape and Urban Planning*, 237, 104781.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104781>
- Hoover, F.-A., Meerow, S., Grabowski, Z. J. et McPhearson, T. (2021). Environmental justice implications of siting criteria in urban green infrastructure planning. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 23(5), 665-682.  
<https://doi.org/10.1080/1523908X.2021.1945916>
- Hopkins, L. D. (2001). *Urban development: the logic of making plans*. Island Press.
- Hudson, B. M., Galloway, T. D. et Kaufman, J. L. (1979). Comparison of Current Planning Theories: Counterparts and Contradictions. *Journal of the American Planning Association*, 45(4), 387-398. <https://doi.org/10.1080/01944367908976980>
- Hunt, A. et Watkiss, P. (2011). Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. *Climatic Change*, 104(1), 13-49. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9975-6>
- Hutt-Taylor, K. et Ziter, C. D. (2022). Private trees contribute uniquely to urban forest diversity, structure and service-based traits. *Urban Forestry & Urban Greening*, 78, 127760.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127760>
- Hydro Ottawa. (s. d.). *Planting Trees | Hydro Ottawa*.  
[https://static.hydroottawa.com/documents/publications/safety/tree\\_planting\\_advice-EN.pdf](https://static.hydroottawa.com/documents/publications/safety/tree_planting_advice-EN.pdf)

- Innes, J. E. (1996). Planning Through Consensus Building: A New View of the Comprehensive Planning Ideal. *Journal of the American Planning Association*, 62(4), 460-472.  
<https://doi.org/10.1080/01944369608975712>
- Innes, J. E. et Booher, D. E. (2016). Collaborative rationality as a strategy for working with wicked problems. *Landscape and Urban Planning*, 154, 8-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.016>
- Innes, J. E. et Booher, D. E. (2018). *Planning with Complexity: An Introduction to Collaborative Rationality for Public Policy* (2<sup>e</sup> éd.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315147949>
- Institut national de santé publique du Québec. (2019). *Milieus ruraux et urbains: Quelles différences de santé au Québec?* INSPQ. <https://www.inspq.qc.ca/santescope/milieus-ruraux-urbains>
- Institut national de santé publique du Québec. (2023). Indice de défavorisation 2021 [Jeu de données spatiales]. Données Québec.  
<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/indice-de-defavorisation-du-quebec-2021>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on CLimate Change* (édité par R. K. Pachauri et L. Mayer). IPCC.
- Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. New York : Random House.  
[http://archive.org/details/deathlifeofgreat0000jaco\\_n0t5](http://archive.org/details/deathlifeofgreat0000jaco_n0t5)
- Janse, G. et Konijnendijk, C. C. (2007). Communication between science, policy and citizens in public participation in urban forestry—Experiences from the Neighbourwoods project. *Urban Forestry & Urban Greening*, 6(1), 23-40.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.09.005>
- Jelokhani-Niaraki, M. (2021). Collaborative spatial multicriteria evaluation: a review and directions for future research. *International Journal of Geographical Information Science*, 35(1), 9-42. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1776870>
- Jim, C. Y. (2017). Constraints to urban trees and their remedies in the built environment. Dans *Routledge Handbook of Urban Forestry*. Routledge.
- Jim, Chi Yung. (2019). Soil volume restrictions and urban soil design for trees in confined planting sites. *Journal of Landscape Architecture*, 14(1), 84-91.  
<https://doi.org/10.1080/18626033.2019.1623552>

- Just, M. G., Frank, S. D. et Dale, A. G. (2018). Impervious surface thresholds for urban tree site selection. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 141-146.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.008>
- Keeney, R. L. (1992). *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*. Harvard University Press. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/umontreal-ebooks/detail.action?docID=3300726>
- Kenney, W. A., Wassenaer, P. J. E. van et Satel, A. L. (2011). Criteria and Indicators for Strategic Urban Forest Planning and Management. *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)*, 37(3), 108-117. <https://doi.org/10.48044/jauf.2011.015>
- Keune, H. et Dendoncker, N. (2013). Chapter 15 - Negotiated Complexity in Ecosystem Services Science and Policy Making. Dans S. Jacobs, N. Dendoncker et H. Keune (dir.), *Ecosystem Services* (p. 167-180). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-419964-4.00015-9>
- King, E., Cavender-Bares, J., Balvanera, P., Mwampamba, T. H. et Polasky, S. (2015). Trade-offs in ecosystem services and varying stakeholder preferences: evaluating conflicts, obstacles, and opportunities. *Ecology and Society*, 20(3). <https://www.jstor.org/stable/26270263>
- Klosterman, R. E. (1997). Planning Support Systems: A New Perspective on Computer-Aided Planning. *Journal of Planning Education and Research*, 17(1), 45-54.  
<https://doi.org/10.1177/0739456X9701700105>
- Konijnendijk, C. C., Ricard, R. M., Kenney, A. et Randrup, T. B. (2006). Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3), 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2005.11.003>
- Kremer, P., Hamstead, Z. A. et McPhearson, T. (2016). The value of urban ecosystem services in New York City: A spatially explicit multicriteria analysis of landscape scale valuation scenarios. *Environmental Science & Policy*, 62, 57-68.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.012>
- Kuller, M., Bach, P. M., Ramirez-Lovering, D. et Deletic, A. (2017). Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice. *Environmental Modelling & Software*, 96, 265-282.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.003>
- Kuller, M., Bach, P. M., Roberts, S., Browne, D. et Deletic, A. (2019). A planning-support tool for spatial suitability assessment of green urban stormwater infrastructure. *Science of The Total Environment*, 686, 856-868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.051>
- Kuller, M., Reid, D. J. et Prodanovic, V. (2021). Are we planning blue-green infrastructure opportunistically or strategically? Insights from Sydney, Australia. *Blue-Green Systems*, 3(1), 267-280. <https://doi.org/10.2166/bgs.2021.023>

- Laclau, E. et Mouffe, C. (2001). *Hegemony and socialist strategy: towards a radical democratic politics* (2nd ed). Verso.
- Lacroix, S., Kuller, M., Gougeon, G., Petrucci, J., Lemieux-Chalifour, F., Rioux, A., Dagenais, D. et Bichai, F. (Under review). Can we stop reinventing the wheel in Blue-Green Infrastructure planning? Using value-focused thinking to enable transferability of a spatial multicriteria analysis tool.
- Lane, M. B. (2005). Public Participation in Planning: an intellectual history. *Australian Geographer*, 36(3), 283-299. <https://doi.org/10.1080/00049180500325694>
- Langhans, S. D. et Lienert, J. (2016). Four Common Simplifications of Multi-Criteria Decision Analysis do not hold for River Rehabilitation. *PLOS ONE*, 11(3), e0150695. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150695>
- Langhans, S. D., Reichert, P. et Schuwirth, N. (2014). The method matters: A guide for indicator aggregation in ecological assessments. *Ecological Indicators*, 45, 494-507. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.014>
- Lee Jr., D. B. (1973). Requiem for Large-Scale Models. *Journal of the American Institute of Planners*, 39(3), 163-178. <https://doi.org/10.1080/01944367308977851>
- Leveque, B., Burnet, J.-B., Dorner, S. et Bichai, F. (2021). Impact of climate change on the vulnerability of drinking water intakes in a northern region. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102656>
- Limoges, S., Pham, T.-T.-H. et Apparicio, P. (2018). Growing on the street: Multilevel correlates of street tree growth in Montreal. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.019>
- Lin, Y. et Benneker, K. (2022). Assessing collaborative planning and the added value of planning support apps in The Netherlands. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(2), 391-410. <https://doi.org/10.1177/23998083211009239>
- Lin, Y. et Geertman, S. (2015). Smart Governance, Collaborative Planning and Planning Support Systems: A Fruitful Triangle? Dans S. Geertman, Jr. Ferreira Joseph, R. Goodspeed et J. Stillwell (dir.), *Planning Support Systems and Smart Cities* (p. 261-277). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18368-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18368-8_14)
- Lindblom, C. E. (1959). The Science of « Muddling Through ». *Public Administration Review*, 19(2), 79-88. <https://doi.org/10.2307/973677>
- Liu, X. (2018). *GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS (MCDA) FOR PRIORITIZING TREE-PLANTING SITES IN HALIFAX URBAN PARKS* [master thesis, Dalhousie University]. <https://dalspace.library.dal.ca/handle/10222/74187>

- Livesley, S. J., McPherson, G. M. et Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL QUALITY*, 45(1), 119-124.  
<https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567>
- Locke, D., Grove, M., Lu, J., Troy, A., O'Neil-Dunne, J. et Beck, B. (2010). Prioritizing Preferable Locations for Increasing Urban Tree Canopy in New York City. *Cities and the Environment (CATE)*, 3. <https://doi.org/10.15365/cate.3142010>
- Locke, D. H., Grove, J. M., Galvin, M., O'Neil-Dunne, J. P. M. et Murphy, C. (2013). Applications of Urban Tree Canopy Assessment and Prioritization Tools: Supporting Collaborative Decision Making to Achieve Urban Sustainability Goals. *Cities and the Environment (CATE)*, 6(1), 28.
- Lothian, A. (1999). Landscape and the philosophy of aesthetics: is landscape quality inherent in the landscape or in the eye of the beholder? *Landscape and Urban Planning*, 44(4), 177-198. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00019-5)
- Lu, D. et Weng, Q. (2006). Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, 102(1), 146-160. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.02.010>
- Lu, J., Svendsen, E., Campbell, L., Greenfeld, J., Braden, J., King, K. et Falxa-Raymond, N. (2011). Biological, Social, and Urban Design Factors Affecting Young Street Tree Mortality in New York City. *Cities and the Environment (CATE)*, 3(1).  
<https://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol3/iss1/5>
- Mackenzie, A., Pidd, M., Rooksby, J., Sommerville, I., Warren, I. et Westcombe, M. (2006). Wisdom, decision support and paradigms of decision making. *European Journal of Operational Research*, 170(1), 156-171. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.041>
- Mailhot, A., Beaugard, I., Talbot, G., Caya, D. et Biner, S. (2012). Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi-model NARCCAP ensemble simulations. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1151-1163. <https://doi.org/10.1002/joc.2343>
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.  
<https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Malczewski, J. et Rinner, C. (2015). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Margerum, R. D. (2016). Theoretical perspectives on the challenges of collaboration. Dans *The Challenges of Collaboration in Environmental Governance* (p. 27-53). Edward Elgar Publishing.

<https://www.elgaronline.com/display/edcoll/9781785360404/9781785360404.00010.xml>

- Marttunen, M., Haag, F., Belton, V., Mustajoki, J. et Lienert, J. (2019). Methods to inform the development of concise objectives hierarchies in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 604-620.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.02.039>
- McLoughlin, J. B. (1969). *Urban and Regional Planning: A systems Approach*. Frederick A. Praeger, Inc.
- Meerow, S. et Newell, J. P. (2017). Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 159, 62-75.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.10.005>
- Millward, A. A. et Sabir, S. (2011). Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada? *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 177-188. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.013>
- Ministère de l'Environnement, Lutte contre les changements climatiques, Faune et Parcs. (2023). Base de données sur la connectivité écologique des milieux naturels dans les basses-terres du Saint-Laurent [Jeu de données spatiales]. Données Québec.  
<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/connectivite-ecologique-des-milieux-naturels-dans-les-basses-terres-du-saint-laurent>
- Ministère des Ressources naturelles et des Forêts. (2023, 10 octobre). AQRéseau+ [Jeu de données spatiales]. Données Québec.  
<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/adresses-quebec>
- Moore, M., Gould, P. et Keary, B. S. (2003). Global urbanization and impact on health. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206(4), 269-278.  
<https://doi.org/10.1078/1438-4639-00223>
- Morani, A., Nowak, D. J., Hirabayashi, S. et Calfapietra, C. (2011). How to select the best tree planting locations to enhance air pollution removal in the MillionTreesNYC initiative. *Environmental Pollution*, 159(5), 1040-1047.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.11.022>
- Natural Capital Project. (2024). *INVEST 3.14.1*. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences.  
<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- Nesbitt, L., Hotte, N., Barron, S., Cowan, J. et Sheppard, S. R. J. (2017). The social and economic value of cultural ecosystem services provided by urban forests in North America: A

- review and suggestions for future research. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.05.005>
- Netusil, N. R., Chattopadhyay, S. et Kovacs, K. F. (2010). Estimating the Demand for Tree Canopy: A Second-Stage Hedonic Price Analysis in Portland, Oregon. *Land Economics*, 86(2), 281-293. <https://doi.org/10.3368/le.86.2.281>
- Nitoslawski, S. A., Steenberg, J. W., Duinker, P. N. et Bush, P. G. (2017). Assessing the influence of location attributes on urban forest species composition in suburban neighbourhoods. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.08.002>
- Nowak, D. J. et Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
- Nowak, D. J., Kuroda, M. et Crane, D. E. (2004). Tree mortality rates and tree population projections in Baltimore, Maryland, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(3), 139-147. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00030>
- Nyelele, C. et Kroll, C. N. (2021). A multi-objective decision support framework to prioritize tree planting locations in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 214, 104172. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104172>
- Ordóñez, C. et Duinker, P. N. (2013). An analysis of urban forest management plans in Canada: Implications for urban forest management. *Landscape and Urban Planning*, 116, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.04.007>
- Ordonez, C., Threlfall, C. G., Kendal, D., Hochuli, D. F., Davern, M., Fuller, R. A., van der Ree, R. et Livesley, S. J. (2019). Urban forest governance and decision-making: A systematic review and synthesis of the perspectives of municipal managers. *Landscape and Urban Planning*, 189, 166-180. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.020>
- Pandit, R., Polyakov, M. et Sadler, R. (2014). Valuing public and private urban tree canopy cover. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 58(3), 453-470. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12037>
- Paquette, A., Sousa-Silva, R., Maure, F., Cameron, E., Belluau, M. et Messier, C. (2021). Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 62, 127157. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127157>
- Pauleit, S. et Duhme, F. (2000). Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 52(1), 1-20. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00109-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00109-2)

- Peckham, S. C., Duinker, P. N. et Ordóñez, C. (2013). Urban forest values in Canada: Views of citizens in Calgary and Halifax. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(2), 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.01.001>
- Pelzer, P. (2017). Usefulness of planning support systems: A conceptual framework and an empirical illustration. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 104, 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.019>
- Pelzer, P., Geertman, S., Heijden, R. van der et Rouwette, E. (2014). The added value of Planning Support Systems: A practitioner's perspective. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.05.002>
- Pham, T.-T.-H., Apparicio, P., Séguin, A.-M., Landry, S. et Gagnon, M. (2012). Spatial distribution of vegetation in Montreal: An uneven distribution or environmental inequity? *Landscape and Urban Planning*, 107(3), 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.002>
- Pincetl, S. (2010). Implementing Municipal Tree Planting: Los Angeles Million-Tree Initiative. *Environmental Management*, 45(2), 227-238. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9412-7>
- Pothier, A. J. et Millward, A. A. (2013). Valuing trees on city-centre institutional land: an opportunity for urban forest management. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(9), 1380-1402. <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.724666>
- R Core Team. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Geneletti, D. et Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>
- Riikonen, A. (2016, 17 novembre). *Some ecosystem service aspects of young street tree plantings* [dissertation académique, University d'Helsinki]. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/167835>
- Ritchey, T. (2013). Wicked Problems : Modelling Social Messes with Morphological Analysis. *Acta Morphologica Generalis*, 2(1), 1-8.
- Rittel, H. W. J. et Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169. <https://doi.org/10.1007/BF01405730>

- Roy, L., Leconte, R., Brissette, F. P. et Marche, C. (2001). The impact of climate change on seasonal floods of a southern Quebec River Basin. *Hydrological Processes*, 15(16), 3167-3179. <https://doi.org/10.1002/hyp.323>
- Roy, S. (2017). Anomalies in Australian municipal tree managers' street-tree planting and species selection principles. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.008>
- Sass, C. K., Lodder, R. A. et Lee, B. D. (2019). Combining biophysical and socioeconomic suitability models for urban forest planning. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.019>
- Scharenbroch, B. C., Carter, D., Bialecki, M., Fahey, R., Scheberl, L., Catania, M., Roman, L. A., Bassuk, N., Harper, R. W., Werner, L., Siewert, A., Miller, S., Hutyra, L. et Raciti, S. (2017). A rapid urban site index for assessing the quality of street tree planting sites. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 279-286. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.08.017>
- Service de l'urbanisme et de la mobilité. (s. d.). Lieux d'intérêt de la Ville de Montréal [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/lieux-d-interet>
- Service du greffe et Service de l'environnement. (2018). Liste des terrains contaminés officiels [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/liste-des-terrains-contaminees>
- Société de transport de Montréal. (2016). Tracés et arrêts des lignes de bus et de métro au format ESRI Shapefile [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/stm-traces-des-lignes-de-bus-et-de-metro>
- Sousa-Silva, R., Cameron, E. et Paquette, A. (2021). Prioritizing Street Tree Planting Locations to Increase Benefits for All Citizens: Experience From Joliette, Canada. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2021.716611>
- Sousa-Silva, R., Lambry, T., Cameron, E., Belluau, M. et Paquette, A. (2023). Urban forests – Different ownership translates to greater diversity of trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 88, 128084. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128084>
- Sousa-Silva, R., Smargiassi, A., Kneeshaw, D., Dupras, J., Zinszer, K. et Paquette, A. (2021). Strong variations in urban allergenicity riskscape due to poor knowledge of tree pollen allergenic potential. *Scientific Reports*, 11(1), 10196. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89353-7>
- Statistics Canada. (2022). 2021 Canadian Census [Profile of Dissemination Areas dataset]. CHASS. <http://dc1.chass.utoronto.ca/census/>

- Statistics Canada. (2023). *Profile table, Census Profile, 2021 Census of Population - Montréal, Ville (V) [Census subdivision], Quebec [table]*. Statistics Canada.  
<https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=E&GENDERlist=1,2,3&STATISTIClist=1,4&HEADERlist=0&DGUIDlist=2021A00052466023&SearchText=montreal>
- Su, K., Ordóñez, C., Regier, K. et Conway, T. M. (2022). Values and beliefs about urban forests from diverse urban contexts and populations in the Greater Toronto area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 72, 127589. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127589>
- Taylor, N. (1998). *Urban planning theory since 1945*. Paul Chapman.
- te Brömmelstroet, M. (2013). Performance of Planning Support Systems: What is it, and how do we report on it? *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 299-308.  
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.07.004>
- te Brömmelstroet, M. (2017). PSS are more user-friendly, but are they also increasingly useful? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 104, 96-107.  
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.009>
- Trowbridge, P. J. et Bassuk, N. (2004). *Trees in the urban landscape: site assessment, design, and installation*. J. Wiley & Sons.
- Tsotsolas, N. et Alexopoulos, S. (2018). MCDA Approaches for Efficient Strategic Decision Making. Dans N. Matsatsinis et E. Grigoroudis (dir.), *Preference Disaggregation in Multiple Criteria Decision Analysis: Essays in Honor of Yannis Siskos* (p. 17-58). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90599-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90599-0_2)
- Turner, W. R., Nakamura, T. et Dinetti, M. (2004). Global Urbanization and the Separation of Humans from Nature. *BioScience*, 54(6), 585-590. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0585:GUATSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0585:GUATSO]2.0.CO;2)
- Ugolini, F., Massetti, L., Sanesi, G. et Pearlmutter, D. (2015). Knowledge transfer between stakeholders in the field of urban forestry and green infrastructure: Results of a European survey. *Land Use Policy*, 49, 365-381.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.08.019>
- Van De Vijver, E., Delbecq, N., Verdoodt, A. et Seuntjens, P. (2020). Estimating the urban soil information gap using exhaustive land cover data: The example of Flanders, Belgium. *Geoderma*, 372, 114371. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114371>
- Van de Voorde, T., Jacquet, W. et Canters, F. (2011). Mapping form and function in urban areas: An approach based on urban metrics and continuous impervious surface data. *Landscape and Urban Planning*, 102(3), 143-155.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.017>

- Van Herzele, A. (2004). Local Knowledge in Action: Valuing Nonprofessional Reasoning in the Planning Process. *Journal of Planning Education and Research*, 24(2), 197-212. <https://doi.org/10.1177/0739456X04267723>
- van Asselt, M. B. A. et Rotmans, J. (2002). Uncertainty in Integrated Assessment Modelling. *Climatic Change*, 54(1), 75-105. <https://doi.org/10.1023/A:1015783803445>
- van Wassenaeer, P. J. E., Schaeffer, L. et Kenney W., A. (2000). Strategic planning in urban forestry: A 21st century paradigm shift for small town Canada. *The Forestry Chronicle*, 76(2), 241-245. <https://doi.org/10.5558/tfc76241-2>
- Ville de Montréal. (2012). *Plan d'action canopée 2012-2021*. Division des grands parcs et du verdissement. [https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS\\_PARCS\\_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC\\_JUIN\\_2012\\_FINAL.PDF](https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/GRANDS_PARCS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/PAC_JUIN_2012_FINAL.PDF)
- Ville de Montréal. (2014a). Zones d'interdiction [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/camionnage-reglements>
- Ville de Montréal. (2014b, 15 août). *Plan d'action canopée de Montréal - La Ville octroie 300 000 \$ supplémentaires à la SOVERDI pour augmenter la cadence de la plantation d'arbres sur le domaine privé*. Ville de Montréal. [https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?\\_pageid=5798,42657625&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL&id=23429](https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=5798,42657625&_dad=portal&_schema=PORTAL&id=23429)
- Ville de Montréal. (2016). Zone de revitalisation urbaine intégrée (RUI) [Jeu de données spatiales]. Données Québec. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/vmtl-rui>
- Ville de Montréal. (2018a). Modèle numérique de surface (MNS) [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/modele-numerique-de-surface-mns>
- Ville de Montréal. (2018b). Résultats du Plan d'intervention 2016-2021 [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/resultats-plan-intervention-actifs-eau-voirie>
- Ville de Montréal. (2020). *Plan climat 2020-2030*. Ville de Montréal. [https://portail-m4s.s3.montreal.ca/pdf/Plan\\_climat%2020-16-16-VF4\\_VDM.pdf](https://portail-m4s.s3.montreal.ca/pdf/Plan_climat%2020-16-16-VF4_VDM.pdf)
- Ville de Montréal. (2023a). Bâtiments 2D 2016 - Tous les arrondissements [Jeu de données spatiales]. Données Québec. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/vmtl-batiment-2d>

- Ville de Montréal. (2023b). Inventaire arbres publics - Fichier consolidé (Arrondissements dans le système corporatif seulement) [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/arbres>
- Ville de Montréal. (2023c). Réseau cyclable [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/pistes-cyclables>
- Ville de Montréal. (2023d). Vulnérabilité aux pluies abondantes 2022 (polygones simplifiés) [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/vulnerabilite-changements-climatiques>
- Ville de Montréal. (2023e). Vulnérabilité aux vagues de chaleur 2022 (polygones simplifiés) [Jeu de données spatiales]. Données ouvertes de la Ville de Montréal. <https://donnees.montreal.ca/dataset/vulnerabilite-changements-climatiques>
- Ville de Montréal. (s. d.). Montréal en statistiques - Profil du recensement de 2021 : Agglomération de Montréal, ville de Montréal et ses arrondissements, autres municipalités de l'agglomération de Montréal [Tableau Excel]. <http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/url/ITEM/E8425AA1354D2034E0530A9301322034>
- Ville de Québec. (2016). Place aux arbres : Vision de l'arbre 2015-2025. [https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/planification-orientations/environnement/milieuxnaturels/protection\\_milieux\\_naturels.aspx](https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/planification-orientations/environnement/milieuxnaturels/protection_milieux_naturels.aspx)
- Vincent, C. (2022). *Plan maître de plantation 2022-2031*. Arrondissement d'Ahunty-Cartierville - Division des parcs et des installations - Direction des travaux public.
- Vlachokostas, Ch., Michailidou, A. V., Matziris, E., Achillas, Ch. et Moussiopoulos, N. (2014). A multiple criteria decision-making approach to put forward tree species in urban environment. *Urban Climate*, 10, 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.10.003>
- Vonk, G., Geertman, S. et Schot, P. (2005). Bottlenecks Blocking Widespread Usage of Planning Support Systems. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 37(5), 909-924. <https://doi.org/10.1068/a3712>
- Weber, E. P., Lach, D. et Steel, B. S. (2017). *New Strategies for Wicked Problems: Science and Solutions in the 21st Century*. Oregon State University Press. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/umontreal-ebooks/detail.action?docID=5092037>
- Westin, M. (2022). The framing of power in communicative planning theory: Analysing the work of John Forester, Patsy Healey and Judith Innes. *Planning Theory*, 21(2), 132-154. <https://doi.org/10.1177/14730952211043219>

- Widney, S., Fischer, B. C. et Vogt, J. (2016). Tree Mortality Undercuts Ability of Tree-Planting Programs to Provide Benefits: Results of a Three-City Study. *Forests*, 7(3), 65. <https://doi.org/10.3390/f7030065>
- Wilby, R.L. (2007). A Review of Climate Change Impacts on the Built Environment. *Built Environment*, 33(1), 31-45. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.31>
- Wilby, Robert L. et Perry, G. L. W. (2006). Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 30(1), 73-98. <https://doi.org/10.1191/0309133306pp470ra>
- Wilson, J. S. et Lindsey, G. H. (2009). Identifying Urban Neighborhoods for Tree Canopy Restoration Through Community Participation. Dans J. D. Gatrell et R. R. Jensen (dir.), *Planning and Socioeconomic Applications* (p. 29-42). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9642-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9642-6_3)
- Wirtz, Z., Hagerman, S., Hauer, R. J. et Konijnendijk, C. C. (2021). What makes urban forest governance successful? – A study among Canadian experts. *Urban Forestry & Urban Greening*, 58, 126901. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126901>
- Yang, W., Green, A. E., Chen, Q., Kenett, Y. N., Sun, J., Wei, D. et Qiu, J. (2022). Creative problem solving in knowledge-rich contexts. *Trends in Cognitive Sciences*, 26(10), 849-859. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.06.012>
- Yao, N., Konijnendijk van den Bosch, C. C., Yang, J., Devisscher, T., Wirtz, Z., Jia, L., Duan, J. et Ma, L. (2019). Beijing's 50 million new urban trees: Strategic governance for large-scale urban afforestation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44, 126392. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126392>
- Yoon, E. J., Kim, B. et Lee, D. K. (2019). Multi-objective planning model for urban greening based on optimization algorithms. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.004>
- Young, R. F. (2011). Planting the Living City. *Journal of the American Planning Association*, 77(4), 368-381. <https://doi.org/10.1080/01944363.2011.616996>
- Zhou, W., Huang, G., Pickett, S. T. A., Wang, J., Cadenasso, M. L., McPhearson, T., Grove, J. M. et Wang, J. (2021). Urban tree canopy has greater cooling effects in socially vulnerable communities in the US. *One Earth*, 4(12), 1764-1775. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.11.010>
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C. et Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 305-316. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011>