

RAPPORT FINAL

PORTRAIT DE LA FORÊT URBAINE DE CANDIAC ET RECOMMANDATIONS POUR EN AMÉLIORER LA RÉSILIENCE FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX

Par

habitat

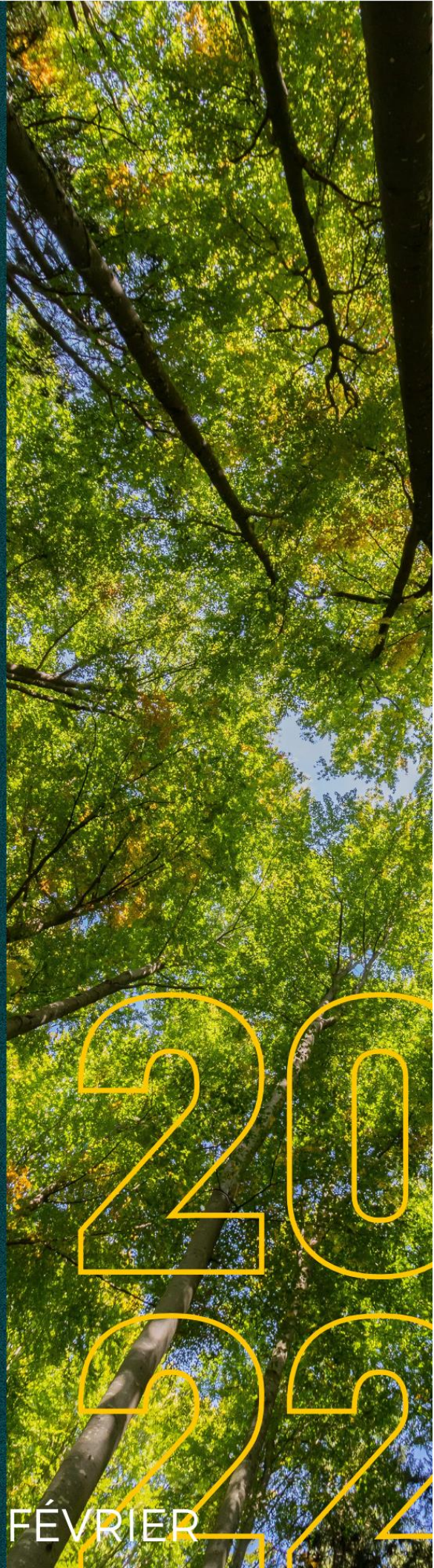
LA NATURE À L'ŒUVRE

Pour



NATURE
ACTION
QUÉBEC

FÉVRIER





HABITAT

Habitat est une entreprise de solutions environnementales fondée en 2017 (d'abord connue sous le nom d'Eco2urb) et basée à Montréal. Elle propose des solutions fondées sur la nature pour alimenter et propulser la transition écologique de ses client·e·s, notamment dans un contexte de relance verte.

Habitat est née d'une mise en commun des expertises de trois laboratoires de pointe dans le domaine des sciences humaines et naturelles. À la tête de l'entreprise, on retrouve les professeurs Dupras, Gonzalez et Messier, tous reconnus à l'échelle internationale dans leurs domaines.

Au cours des quatre dernières années, Habitat a catalysé la transition écologique d'une clientèle diversifiée. L'équipe collabore avec de nombreuses universités, centres de recherche et organisations non gouvernementales afin de faciliter la mise en œuvre de travaux scientifiques reliés à l'écologie, la foresterie et l'aménagement du territoire. Elle propose des approches innovatrices et des stratégies environnementales à la fine pointe de la science.

L'équipe de consultants scientifiques d'Habitat vous encadre dans la gestion durable des écosystèmes, dans la conservation de la biodiversité et dans la prise en compte des services rendus par vos infrastructures naturelles, en appliquant la meilleure science disponible.

Notre mission est d'accélérer votre transition écologique à l'aide de solutions ancrées dans la nature et la science.



Équipe de réalisation

Rédaction :	Françoise Vanoverbeke, M. Sc. Fanny Maure, Ph. D.
Analyses :	Noémie Lacroix, M. Sc. Kyle T. Martins, M. Sc. Annick St-Denis, Ph. D.
Inventaires :	Rosalie Langevin-Boucher (stage universitaire) Julien Leclerc (stage universitaire) Emmanuelle Mélis (stage universitaire) Marysia Zaleski-Cox (stage universitaire)
Édition et mise en page :	Fanny Maure, Ph. D. Julie Lebert
Coordination :	Fanny Maure, Ph. D. Véronique Dumais-Lalonde, M. Sc.
Direction scientifique :	Christian Messier, Ph. D.

Citation suggérée :

Habitat (2022). Portrait de la forêt urbaine de Candiac et recommandations pour améliorer la résilience face aux changements globaux. Pour Nature-Action Québec. 28 p + annexes.



Table des matières

GLOSSAIRE.....	3
1. INTRODUCTION.....	4
1.1 La forêt urbaine : essentielle pour lutter contre les changements globaux	4
1.2 Contexte et objectifs du projet	5
1.3 Région d'étude	6
2. PORTRAIT DE LA FORÊT URBAINE DE CANDIAC.....	7
2.1 Caractérisation des secteurs inventoriés au sein de la Ville	7
2.2 Structure de la canopée urbaine de Candiac	9
2.3 Richesse spécifique de la canopée urbaine de Candiac.....	10
2.4 Diversité fonctionnelle des arbres urbains	14
2.5 Services écosystémiques rendus par les arbres urbains.....	19
2.6 Vulnérabilité des arbres urbains	21
3. RECOMMANDATIONS.....	24
4. CONCLUSION.....	28
ANNEXES	29

Liste des figures

Figure 1. Aperçu du flux de travail dans le temps adopté pour la réalisation du projet d'évaluation de la forêt urbaine de la Ville de Candiac.....	6
Figure 2. Présentation du territoire à l'étude au sein de la Ville de Candiac et des différents secteurs inventoriés.	7
Figure 3. Répartition des arbres recensés à Candiac selon leur classe de diamètre à hauteur de poitrine (DHP).	10
Figure 4. Répartition des arbres urbains recensés à Candiac selon leur A) espèce, B) genre et C) famille.....	12
Figure 5. Répartition des arbres urbains recensés à Candiac selon leur genre.....	13
Figure 6. Répartition des arbres urbains recensés à Candiac selon leur appartenance à un groupe fonctionnel.	15
Figure 7. Indice de diversité fonctionnelle à l'échelle de la Ville de Candiac. Sur la base des groupes fonctionnels utilisés dans le cadre de ce mandat, la diversité fonctionnelle peut atteindre une valeur maximale de 9	16
Figure 8. Indice de diversité fonctionnelle des arbres pour chacun des secteurs inventoriés à Candiac	18
Figure 9. Pourcentages des arbres vulnérables aux menaces biotiques et abiotiques pour la Ville de Candiac.	21



Liste des tableaux

Tableau 1. Présentation des secteurs inventoriés dans la Ville de Candiac, de leur superficie et du nombre d'arbres recensés. Pour faciliter la comparaison entre les secteurs, un indicateur de la densité des arbres inventoriés (Nb/ha) est également présenté.	9
Tableau 2. Synthèse des principales espèces arboricoles recensées au sein du territoire de la Ville de Candiac.	11
Tableau 3. Richesse spécifique et diversité fonctionnelle pour chacun des 20 secteurs inventoriés à Candiac.	17
Tableau 4. Synthèse de services écosystémiques analysés et rendus par les arbres urbains recensés à Candiac.	20
Tableau 5. Proportion (%) des arbres vulnérables à différentes catégories de menaces et espèces recensées (par ordre d'occurrence) qui sont les plus vulnérables ou les plus résistantes à ces menaces pour la Ville de Candiac.....	23



GLOSSAIRE

Arbres urbains : arbres situés en milieu urbain, en dehors des bois urbains, incluant les arbres de rues, de parcs et les arbres sur les terrains résidentiels.

Canopée : strate supérieure des arbres où se trouve l'essentiel du feuillage et où la majorité de l'énergie solaire est captée.

Changements globaux : combinaison des changements climatiques et des menaces anthropiques (ex. espèces exotiques introduites par l'humain, conversion des terres).

Diversité fonctionnelle : diversité au niveau des traits fonctionnels (ou caractéristiques biologiques) des espèces recensées sur un territoire donné.

Forêt urbaine : ensemble typiquement constitué par les arbres et les bois urbains. Dans le cadre spécifique de ce projet, le terme « forêt urbaine » renvoie uniquement aux arbres urbains.

Menace abiotique : menace venant du milieu et non des êtres vivants, comme les incendies, les précipitations ou le vent.

Menace biotique : menace venant du monde vivant, comme les épidémies d'insectes ou les maladies exotiques.

Résilience : capacité d'un milieu naturel à se remettre suite à une perturbation, de façon à maintenir les fonctions écologiques qu'il fournissait à son état initial.

Richesse spécifique : nombre d'espèces recensées sur un territoire donné.

Services écosystémiques : bénéfiques issus du fonctionnement des écosystèmes, comme la pollinisation ou la séquestration du carbone.

Traits fonctionnels : caractéristiques biologiques des espèces animales et végétales qui dictent leurs réponses à différentes conditions environnementales et leurs effets sur l'environnement. À titre d'exemple, la taille des semences et la densité du bois représentent des traits fonctionnels pour les arbres.

Vulnérabilité de la forêt urbaine : mesure de sa sensibilité face aux perturbations et aux facteurs de stress pouvant affecter son fonctionnement. Plus une forêt urbaine est vulnérable, plus elle a de probabilité de connaître un déclin au niveau de sa santé et donc de sa productivité.



1. INTRODUCTION

1.1 La forêt urbaine : essentielle pour lutter contre les changements globaux

La [forêt urbaine](#) est typiquement constituée des arbres de rues, de parcs, des arbres résidentiels et des bois urbains. Elle est une composante essentielle de notre paysage urbain compte tenu de son rôle dans l'amélioration de notre qualité de vie. En effet, grâce aux nombreux bénéfices que ces arbres fournissent au quotidien, tels que la régulation du climat, l'amélioration de la qualité de l'air et de la biodiversité, mais également leurs fonctions esthétiques, récréatives et patrimoniales, ils contribuent grandement à notre santé et notre bien-être. Ces bénéfices rendus par les arbres font référence à la notion de [services écosystémiques](#).

Toutefois, une proportion grandissante de forêts urbaines risque de périliter face aux [changements globaux](#). Ces changements globaux regroupent les changements anthropiques (ex. pression démographique, urbanisation) et les [menaces biotiques](#) (ex. établissement d'insectes ou de maladies exotiques) et [abiotiques](#) (ex. événements climatiques). Dans un tel contexte, il devient important de mieux préparer nos forêts urbaines afin de les rendre plus résilientes aux perturbations présentes et futures. Autrement dit, nous devons augmenter leur capacité à récupérer ou à s'adapter face au plus grand nombre de différents stress ou menaces possible, et ce, en diversifiant les espèces d'arbres qui nous entourent.

Dans l'optique de promouvoir la [résilience](#) des forêts urbaines, Habitat adopte une approche basée sur la [diversité](#) dite [fonctionnelle](#) des arbres. Ainsi, plutôt que de s'intéresser uniquement au nombre d'espèces d'arbres recensées au sein d'un territoire pour déterminer son niveau de diversité, nous nous basons sur les caractéristiques biologiques de ces espèces, aussi appelées [traits fonctionnels](#). Ces traits fonctionnels nous renseignent sur la réponse des arbres à différents facteurs de stress, comme la sécheresse, la compaction du sol ou des insectes, et nous indiquent donc leur vulnérabilité. Plus les espèces présentes sur un territoire ont des traits fonctionnels diversifiés et complémentaires, plus elles auront de chance de réagir différemment aux menaces. Autrement dit, une forêt urbaine diversifiée au niveau fonctionnel sera plus résiliente aux perturbations, et ce, malgré l'incertitude liée aux changements globaux.

1.2 Contexte et objectifs du projet

En collaboration avec la Ville de Candiac, Nature-Action Québec a élaboré un projet visant à optimiser la gestion de la forêt urbaine de Candiac dans une optique d'adaptation aux changements globaux. Ce projet s'inscrit dans une vision plus large de sensibilisation des villes à mieux adapter leurs forêts urbaines face aux menaces présentes et futures.

En juin 2021, Habitat a été mandatée par Nature-Action Québec pour réaliser l'évaluation de la forêt urbaine de la Ville de Candiac dans une perspective d'amélioration de sa résilience face aux changements globaux. Ce rapport présente ainsi le portrait de la forêt urbaine¹ et de sa diversité, les bénéfices rendus par les [arbres urbains](#) qui la composent et leur niveau de vulnérabilité. Des recommandations concrètes seront également émises dans le but d'augmenter la résilience de la forêt urbaine de la Ville de Candiac. La méthodologie utilisée, les résultats obtenus et leur interprétation y sont également présentés afin d'assurer la compréhension et la transparence des démarches et des constats clés.

Ce projet comprend trois étapes principales, dont les objectifs plus précis sont présentés ci-dessous :

Inventaires des arbres de rues et de parcs

- + Valider l'emplacement et l'identification des arbres recensés en 2014
- + Ajouter les nouveaux arbres de rues et de parcs (et dans la mesure du possible des arbres en façade de maison) plantés depuis 2014 :
 - Géolocalisation
 - Identification à l'espèce
 - Mesure du diamètre de leur tronc à hauteur de poitrine (DHP),
 - Estimation de l'état de santé (condition générale de l'arbre).

Analyses

- + Analyser la richesse spécifique et la diversité fonctionnelle des arbres recensés
- + Estimer leur contribution aux services écosystémiques suivants :
 - Séquestration du carbone
 - Stockage du carbone
 - Évitement des eaux de ruissellement
 - Amélioration de la qualité de l'air
- + Évaluer la vulnérabilité de la forêt urbaine face aux menaces biotiques et abiotiques présentes et à venir.

Recommandations et livrables

- + Présenter le portrait de la forêt urbaine de la Ville de Candiac dans un rapport
- + Émettre des recommandations concrètes et applicables par la Ville de façon à mettre en place des pratiques de gestion favorisant la résilience de la forêt urbaine.

¹ Dans le cadre spécifique de ce projet, le terme « forêt urbaine » renvoie uniquement aux arbres urbains et exclut les bois urbains.

La figure 1 présente le déroulement des différentes étapes du projet.

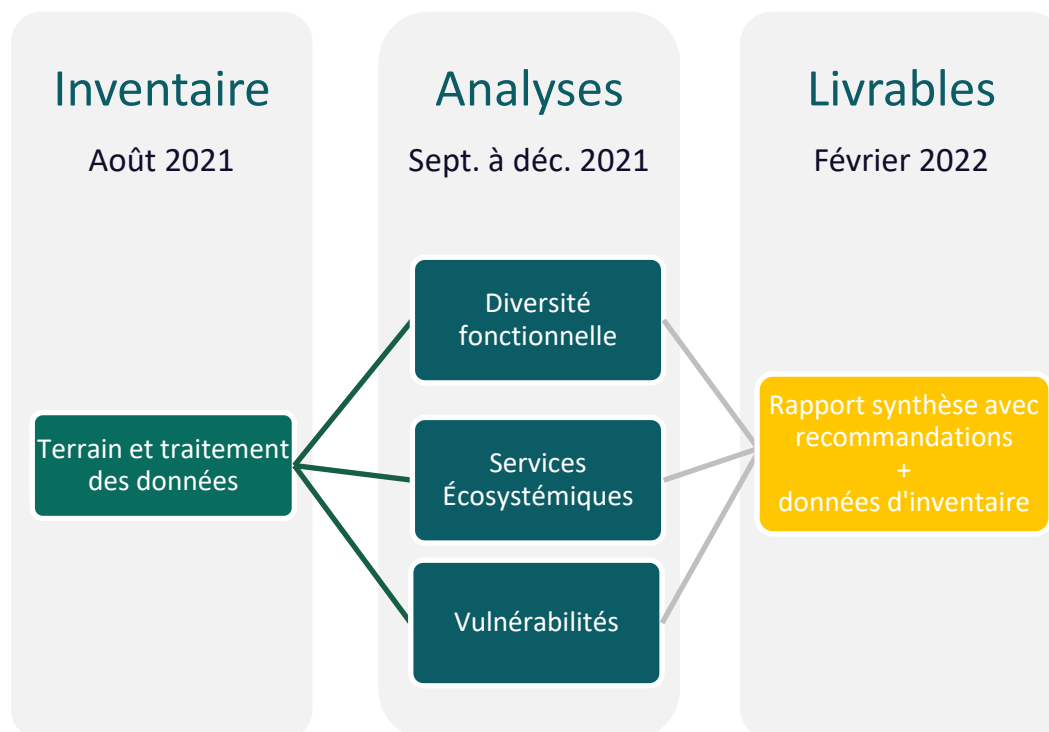


Figure 1. Aperçu du flux de travail dans le temps adopté pour la réalisation du projet d'évaluation de la forêt urbaine de la Ville de Candiac.

1.3 Région d'étude

La Ville de Candiac se situe en Montérégie, dans le sud du Québec, et plus précisément sur la rive-sud de l'île de Montréal. Son territoire, d'environ 1 750 ha s'étend au sud du fleuve Saint-Laurent et compte environ 22 300 résidents et résidentes.

Selon les prévisions climatiques de la région, une augmentation des températures moyennes de 3 degrés Celsius est attendue d'ici 2070 (scénario d'émissions élevées), ainsi qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité d'événements météorologiques extrêmes, comme des sécheresses, des inondations et des tempêtes². De plus, selon le GIEC³, une augmentation des dommages causés par les agents pathogènes et les insectes nuisibles est prévue d'ici 2050 dans les pays nordiques, jusqu'ici protégés par des hivers froids. Ceci représente donc une menace biotique pour les arbres de Candiac.

² OURANOS. (2020). Adaptation aux changements climatiques : défis et perspectives pour la région de la Montérégie. Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), Gouvernement du Québec.

³ IPCC. (2014). AR5 Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Global and Sectoral Aspects, Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

2. PORTRAIT DE LA FORÊT URBAINE DE CANDIAC

Cette section présente le portrait de la forêt urbaine de Candiac et fournit donc les résultats relatifs à l'évaluation de sa structure, de sa richesse spécifique, de sa diversité fonctionnelle, des services écosystémiques rendus et de la vulnérabilité des espèces présentes face aux principales menaces biotiques et abiotiques. Bien que le nombre d'arbres pris en compte pour chaque analyse puisse varier légèrement en raison des contraintes associées au format des données, il reste représentatif de la forêt urbaine de Candiac.

Afin d'alléger le contenu du rapport, seule une présentation assez sommaire de la méthodologie qui a été employée tout au long du projet est fournie ici. Pour de plus amples détails, et notamment toutes les références scientifiques sur lesquelles se basent les analyses, l'intégralité des méthodes est fournie en annexes.

2.1 Caractérisation des secteurs inventoriés au sein de la Ville

L'inventaire a été réalisé sur tout le territoire de la Ville de Candiac, à l'exception d'une zone agricole (au sud de la A30), du golf et de l'échangeur des routes 930 et 15. La superficie inventoriée correspond à 920 ha. Afin de faciliter la collecte de données, le territoire a été divisé en 20 secteurs distincts, de superficies relativement comparables (figure 2). La majorité de ces secteurs se situent en zone résidentielle, mais les secteurs 4, 11, 17, 19 et 20 sont en zones industrielles et le secteur 5 est mixte (industriel et résidentiel).

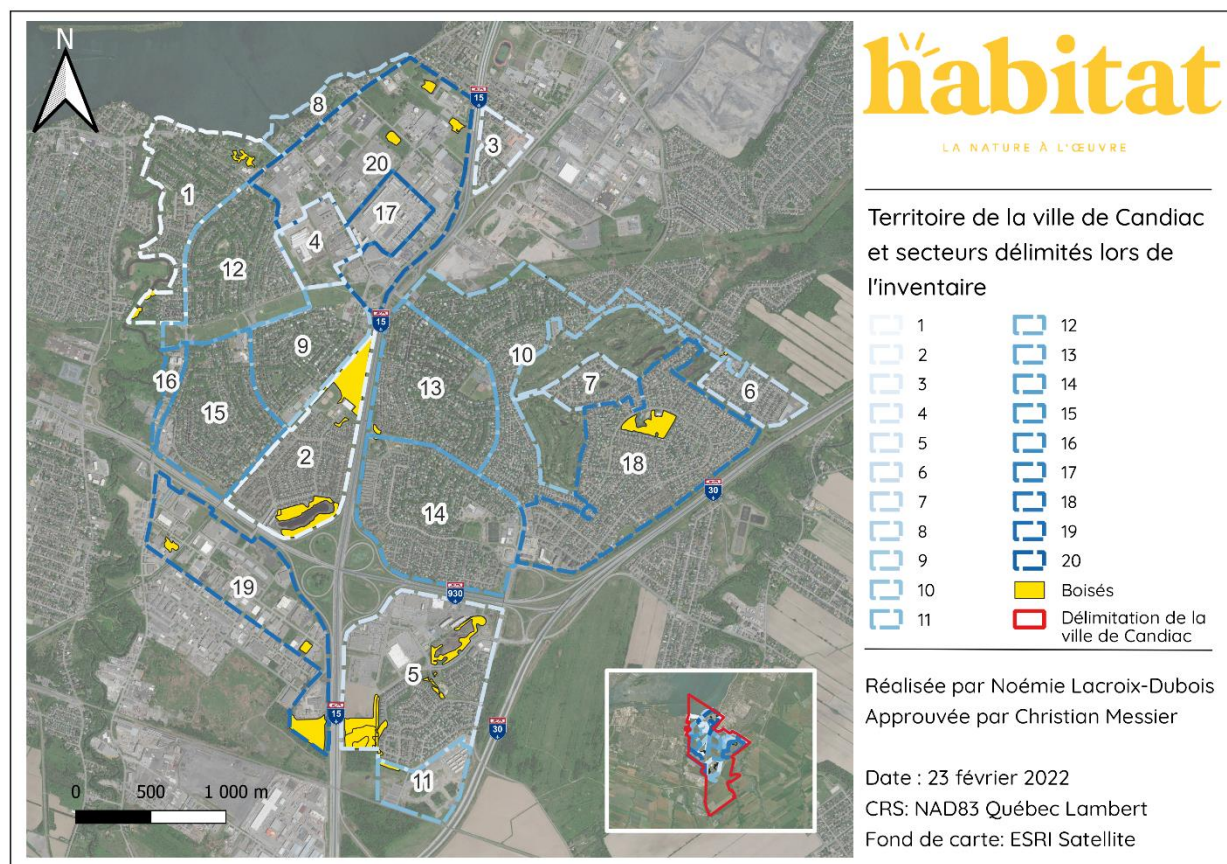


Figure 2. Présentation du territoire à l'étude au sein de la Ville de Candiac et des différents secteurs inventoriés.

L'inventaire a ciblé tous les arbres des rues et des principaux parcs et espaces verts qui ne figuraient pas dans l'inventaire de 2014, et ceux présents en façade de maison ou en cour latérale lorsque facilement identifiables depuis la rue. Cependant, les bois urbains n'ont pas été inventoriés dans le cadre de ce projet (voir l'annexe A pour plus de détails).



Un total de **16 118 arbres urbains vivants** a été recensé sur le territoire la Ville de Candiac, excluant donc les arbres morts et abattus.

À noter que les analyses réalisées dans le cadre de ce mandat se basent sur un total de **16 016 arbres**, puisque certains individus ont dû être écartés du fait d'un manque d'information (DHP inconnu ou nom latin inconnu).

Le tableau 1 ci-dessous présente les statistiques relatives à chacun des secteurs inventoriés. Afin de ne pas biaiser les résultats, les superficies couvertes par des boisées (environ 30 ha au total) ont été soustraites à la superficie totale de chacun des secteurs pour le calcul de la densité d'arbres. La superficie totale de la municipalité ayant fait l'objet d'un inventaire par Habitat s'élève ainsi à 920 ha (figure 2).

Tableau 1. Présentation des secteurs inventoriés dans la Ville de Candiac, de leur superficie et du nombre d’arbres recensés. Pour faciliter la comparaison entre les secteurs, un indicateur de la densité des arbres inventoriés (Nb/ha) est également présenté.

Secteur	Superficie (ha)	Nb d’arbres	Densité Nb arbres/ha
1	40	1581	40
2	32	927	29
3	11	173	16
4	20	40	2
5	88	939	11
6	16	221	14
7	15	193	13
8	11	133	12
9	42	1222	29
10	79	1401	18
11	20	0	0
12	48	1521	32
13	63	1440	23
14	83	2147	26
15	56	1617	29
16	6	133	22
17	15	256	17
18	102	1528	15
19	67	67	1
20	106	477	5
Ville	920	16 016	18

2.2 Structure de la canopée urbaine de Candiac

La classification des arbres de l’inventaire dans un histogramme des classes de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) est donnée à la figure suivante. En ville, il existe généralement une bonne relation entre la taille et l’âge des arbres (ce qui n’est pas toujours le cas en forêt naturelle). La figure 3 permet donc en quelque sorte de visualiser la structure d’âge de [la canopée](#) urbaine de Candiac. Il existe une grande proportion de jeunes arbres ayant un DHP entre 10 et 30 cm (41 %). Le grand nombre de jeunes arbres est d’abord une caractéristique

normale des inventaires d'arbres urbains : les conditions de croissance difficiles font en sorte que beaucoup de nouveaux arbres doivent être plantés pour assurer le renouvellement de la forêt urbaine à long terme. En outre, il est sain de retrouver un nombre plus important d'arbres jeunes, car la mortalité de ceux-ci est généralement plus importante que celle des plus gros arbres⁴. Le nombre d'arbres dans chaque classe diminue finalement en fonction de l'augmentation du diamètre. Globalement, la structure de taille (ou âge) des arbres de la ville est bonne, car il n'y a pas une surreprésentation d'une classe d'âge par rapport à une autre. La diversité en âges et en tailles des arbres recensés contribue à la résilience de la forêt urbaine face à des perturbations comme les tempêtes de vent, certaines maladies et épidémies d'insectes.

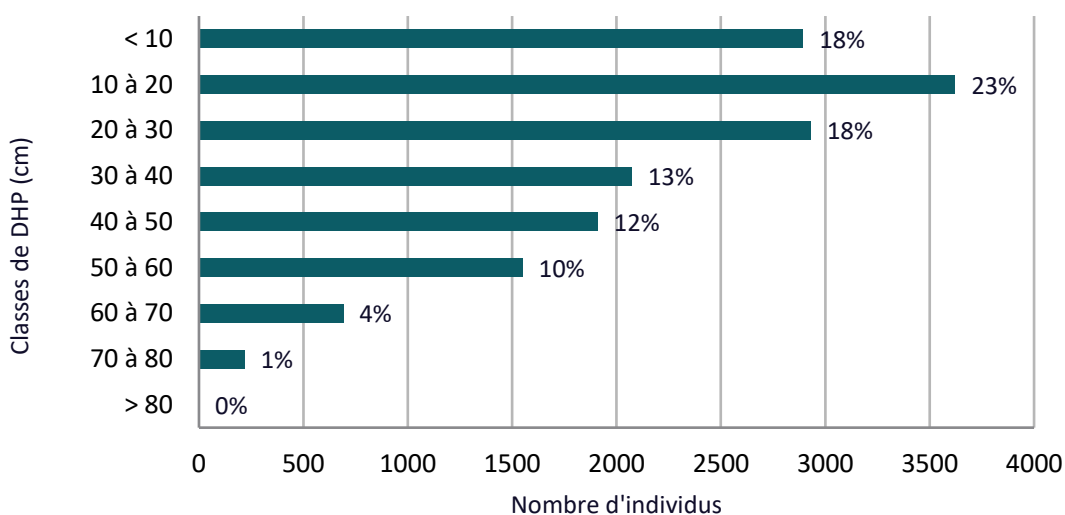


Figure 3. Répartition des arbres recensés à Candiac selon leur classe de diamètre à hauteur de poitrine (DHP).

2.3 Richesse spécifique de la canopée urbaine de Candiac

Dans le cadre des inventaires réalisés, un total de 143 espèces distinctes⁵ a été recensé dans la Ville de Candiac. La [canopée](#) urbaine de la Ville est donc caractérisée par une [richesse spécifique](#) de 143. Pourtant, elle est caractérisée par une forte dominance d'érables, plus particulièrement l'érable argenté (*Acer saccharinum*, 17 %), l'érable de Norvège (*Acer platanoides*, 15 %) et de façon plus limitée l'érable rouge (*Acer rubrum*, 3 %). En outre, la canopée de Candiac est caractérisée par une forte représentation du févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos*, 7 %), de l'épinette du Colorado (*Picea pungens*, 5 %), du lilas japonais (*Syringa reticulata*, 4 %), du tilleul à petites feuilles (*Tilia cordata*, 3 %) et du frêne de Pennsylvanie (*Fraxinus pennsylvanica*, 2 %) (tableau 2). Cette représentation est assez typique des villes de l'Est de l'Amérique du Nord⁶.

⁴ Hilbert, D. R., Roman, L. A., Koeser, A. K., Vogt, J., & van Doorn, N. S. (2019). Urban tree mortality: a literature review. *Arboriculture & Urban Forestry*, 45 (5): 167-200., 45(5), 167-200.

⁵ Les variétés et cultivars ont été inclus avec l'espèce à laquelle ils appartiennent.

⁶ Nock, C. A., Paquette, A., Follett, M., Nowak, D. J., & Messier, C. (2013). Effects of urbanization on tree species functional diversity in eastern North America. *Ecosystems*, 16(8), 1487-1497.

Tableau 2. Synthèse des principales espèces arboricoles recensées au sein du territoire de la Ville de Candiac. Le tableau indique également le groupe fonctionnel (GF) auquel les espèces appartiennent selon leurs caractéristiques biologiques, le nombre d'arbres (Nb) inventoriés et la proportion (%) occupée parmi les arbres inventoriés.

Espèce	GF	Nb	%	Espèce	GF	Nb	%
<i>Acer saccharinum</i>	2C	2766	17 %	<i>Thuja occidentalis</i>	1A	216	1 %
<i>Acer platanoides</i>	2A	2415	15 %	<i>Populus deltoides</i>	5	212	1 %
<i>Gleditsia triacanthos</i>	4B	1047	7 %	<i>Quercus macrocarpa</i>	4C	212	1 %
<i>Picea pungens</i>	1A	747	5 %	<i>Quercus palustris</i>	4A	209	1 %
<i>Syringa reticulata</i>	3A	567	4 %	<i>Acer x freemanii</i>	2A	205	1 %
<i>Tilia cordata</i>	2A	517	3 %	<i>Picea glauca</i>	1A	199	1 %
<i>Acer rubrum</i>	2C	418	3 %	<i>Phellodendron amurense</i>	5	162	1 %
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	2C	390	2 %	<i>Aesculus glabra</i>	2B	161	1 %
<i>Celtis occidentalis</i>	2C	387	2 %	<i>Picea abies</i>	1A	150	1 %
<i>Tilia americana</i>	2A	338	2 %	<i>Quercus robur</i>	4A	139	1 %
<i>Fraxinus americana</i>	2C	297	2 %	<i>Acer ginnala</i>	2A	119	1 %
<i>Ginkgo biloba</i>	1B	277	2 %	<i>Gymnocladus dioicus</i>	4B	117	1 %
<i>Quercus rubra</i>	4A	253	2 %	<i>Pinus nigra</i>	1B	103	1 %
				Autres	-	3 090	21 %
Total des arbres analysés						16 016	100 %

Selon une règle simple attribuée à Santamour (1990)⁷, une plantation diversifiée suivrait la règle du 10-20-30, limitant ainsi la représentation d'une seule espèce à 10 % de la canopée, d'un seul genre à 20 % et d'une seule famille à 30 %. Ces grandes lignes fournissent une approche simple et rapide pour favoriser la diversification du nombre d'espèces présentes au sein de la canopée. À Candiac, selon cette règle, les érables argentés (*Acer saccharinum*) et érables de Norvège (*Acer platanoides*) dépassent tous les deux le seuil recommandé de 10 % puisque ces deux espèces représentent respectivement 17 % et 15 % des arbres inventoriés (figure 4A). À lui seul, le genre érable (*Acer*) représente 37 % de l'inventaire total. Il se situe donc bien au-delà du seuil recommandé de 20 % (figure 4B). On observe par ailleurs que les arbres appartenant à ce genre sont particulièrement concentrés dans certains secteurs de la Ville (figure 5). Enfin, la famille des Sapindaceae (qui inclut tous les arbres du genre érable et les marronniers) regroupe 38 % des espèces présentes dans la canopée de Candiac (figure 4C) et confirme donc la tendance observée quant à la surreprésentation de certaines espèces au sein de la Ville, au détriment de la diversité de la canopée urbaine et donc de sa résilience.

⁷ Santamour, F. S. (1990). Trees for urban planting: Diversity, Uniformity, and Common Sense. Proceedings of the Seventh Conference of The Metropolitan Tree Improvement Alliance, 7, 57–65.

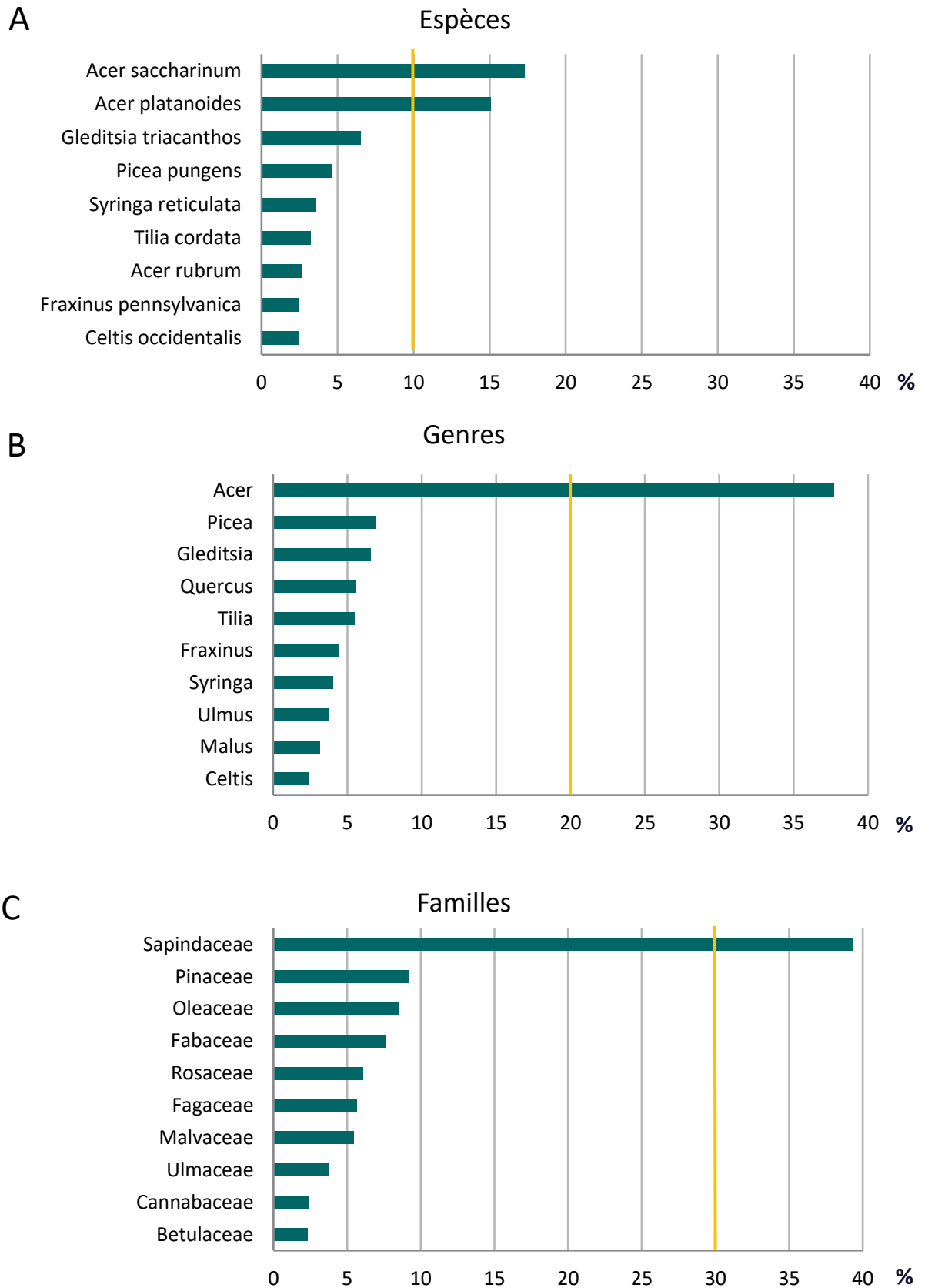


Figure 4. Répartition des arbres urbains recensés à Candiac selon leur A) espèce, B) genre et C) famille. Les lignes jaunes indiquent les seuils issus de la règle de Santamour qui dicte qu'une forêt urbaine diversifiée devrait ne pas dépasser 10 % de la même espèce, 20 % du même genre et 30 % de la même famille.

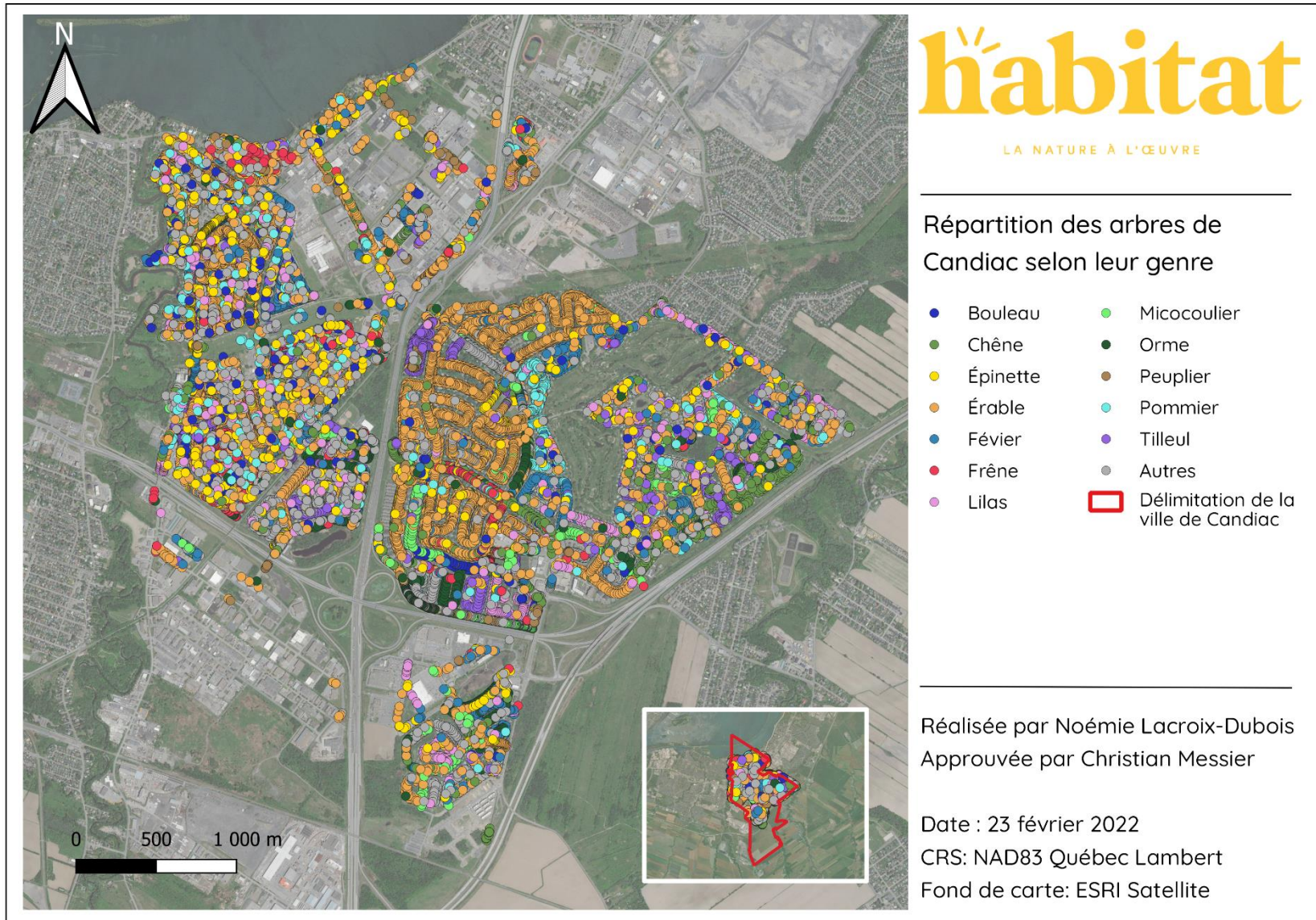


Figure 5. Répartition des arbres urbains recensés à Candiac selon leur genre.

2.4 Diversité fonctionnelle des arbres urbains

Bien que la règle de Santamour fournisse un outil facile et rapide d'application pour augmenter la diversité spécifique de la canopée, elle ne se base sur aucune étude ou théorie scientifique reconnue. L'approche par trait fonctionnel qui permet de calculer la diversité fonctionnelle repose sur une assise scientifique solide et se veut donc complémentaire à la règle de Santamour. Cette approche indique que plus la diversité fonctionnelle d'un écosystème ou territoire est élevée, plus il est résilient face à une grande diversité de menaces biotiques et abiotiques. En effet, plusieurs espèces appartenant à des genres ou des familles distinctes peuvent partager des traits fonctionnels semblables et ainsi présenter les mêmes vulnérabilités face à des menaces biotiques ou abiotiques⁸. À titre d'exemple, ces traits incluent la tolérance à la sécheresse, la taille des semences ou encore la densité du bois et ils déterminent la façon dont une espèce va répondre et s'adapter aux conditions environnementales. Autrement dit, une forêt urbaine avec un grand nombre d'espèces différentes pourrait être caractérisée par une diversité fonctionnelle relativement faible, avec des espèces très semblables en termes de traits et de vulnérabilités.

Afin de minimiser les risques de perte d'un pourcentage important de la canopée, il est recommandé de s'assurer que les espèces présentes ne partagent pas toutes les mêmes traits fonctionnels et que leur diversité est bien répartie sur l'ensemble du territoire. Une méthode simple d'application de la diversité fonctionnelle consiste à regrouper les espèces d'arbres selon la similitude de leurs traits fonctionnels, sous la forme de groupes dits groupes fonctionnels. Les principales espèces d'arbres retrouvées dans les milieux urbains du Québec (indigènes et ornementales) ont ainsi été regroupées en 5 groupes pour un total de 9 sous-groupes (1A et 1B, 2AB et 2C, 3A et 3B, 4A et 4B et 5) caractérisés par un ou plusieurs traits particuliers tels que la tolérance ou l'intolérance à l'ombre, la tolérance ou l'intolérance aux inondations ou encore une croissance rapide (tous les détails sur les groupes fonctionnels sont fournis à l'annexe B).

À Candiac, sur la base de ces 9 sous-groupes fonctionnels, l'analyse de la diversité fonctionnelle des arbres urbains révèle une tendance semblable à l'analyse de la diversité spécifique : le groupe 2, comprenant majoritairement les érables, les frênes et les tilleuls, occupe à lui seul plus de la moitié des arbres urbains (figure 6). En effet, plus du quart des arbres inventoriés appartient au sous-groupe 2AB, en raison principalement de la dominance de l'érable argenté et d'autres espèces feuillues tolérantes à l'ombre.

⁸ Paquette, A., Sousa-Silva, R., Maure, F., Cameron, E., Belluau, M., & Messier, C. (2021). Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62(February). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127157>

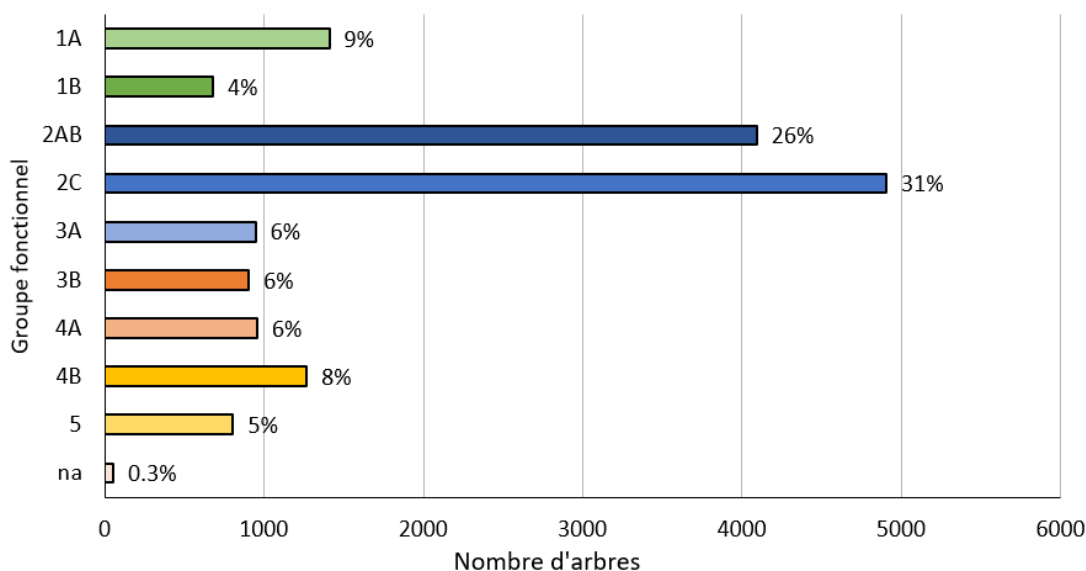


Figure 6. Répartition des arbres urbains recensés à Candiac selon leur appartenance à un groupe fonctionnel.

D'un point de vue plus global, il ressort de cette analyse que plus de 83 % des arbres urbains sont représentés par seulement trois grands groupes fonctionnels (les groupes 1, 2 et 4). Ce constat indique que le couvert forestier de la ville est plus susceptible et moins résilient aux différentes perturbations qui menacent les arbres de nos villes, puisque les espèces issues du même groupe fonctionnel risquent de réagir de façon homogène à une perturbation donnée. Il suffit d'observer la situation entraînée par l'agrile du frêne pour saisir l'impact dévastateur qu'une représentation déséquilibrée d'une espèce ou d'un groupe fonctionnel peut avoir sur la forêt urbaine.

Si l'on s'intéresse maintenant à l'indice de diversité fonctionnelle, qui permet de pondérer la présence des différents sous-groupes par leur abondance relative, on obtient une valeur de 6,8 à l'échelle de la Ville, soit un indice de diversité fonctionnelle intermédiaire⁹ (figure 7). Ainsi, bien que les 9 sous-groupes soient présents au sein des espèces recensées, ils ne sont pas équitablement représentés au sein du territoire (figures 8), ce qui diminue l'indice de diversité fonctionnelle. À titre de comparaison, la Ville de Varennes (ayant une population comparable à celle de Candiac) a un indice de diversité fonctionnelle élevé (7,3/9) alors que la Ville de Montréal atteint un niveau de diversité fonctionnelle intermédiaire (5,9/9), inférieur à celui de Candiac.

⁹ Voir l'annexe B pour le détail des classes de diversité fonctionnelle.

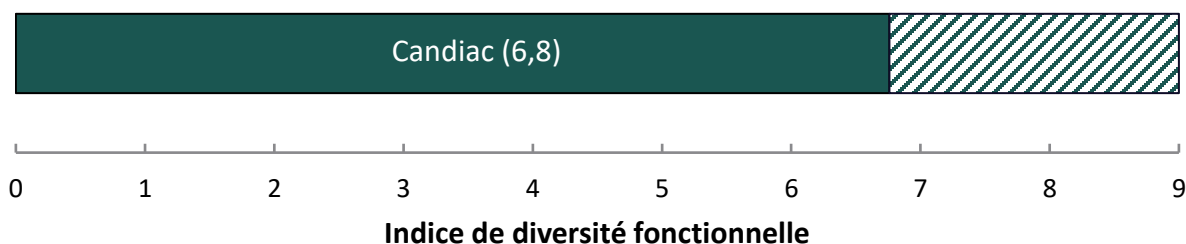


Figure 7. Indice de diversité fonctionnelle à l'échelle de la Ville de Candiac. Sur la base des groupes fonctionnels utilisés dans le cadre de ce mandat, la diversité fonctionnelle peut atteindre une valeur maximale de 9.

À une échelle plus fine, la figure 8 et le tableau 3 présentent les indices de diversité fonctionnelle obtenus pour chacun des secteurs inventoriés au sein de la Ville et permettent d'identifier ceux pour lesquels des interventions de diversification seront prioritaires. Par exemple, le secteur 11 ne contient aucun arbre vivant et est caractérisé par un indice de diversité fonctionnelle nul. Les secteurs 3 et 13 ont quant à eux reçu des indices de diversité fonctionnelle faibles (respectivement équivalents à 3,8 et 4,9), car ils comptent majoritairement des érables et des frênes (notamment dans le parc de Picardie) qui appartiennent au même groupe fonctionnel (groupe 2). La forte présence d'érables s'observe d'ailleurs aussi particulièrement dans les secteurs résidentiels 10 et 14 (figure 5) où les érables (identifiés en orange sur la figure) semblent présents sur la grande majorité des rues de ces secteurs. À l'opposé, les secteurs 2, 5 et 16 présentent des indices de diversité fonctionnelle élevés et sont donc moins vulnérables face aux changements globaux. On note toutefois une sous-représentation du groupe 5 dans ces secteurs.

La forêt urbaine de Candiac est donc caractérisée par une forte hétérogénéité spatiale en termes de distribution des groupes fonctionnels et il est recommandé de se baser sur la diversité fonctionnelle de chacun des secteurs pour planifier les prochaines plantations et ainsi sélectionner localement des espèces mieux adaptées au contexte. Les secteurs ayant un indice de diversité inférieur à celui de la Ville (6,8) devraient être priorités dans les interventions de diversification, en commençant par ceux ayant un indice très faible ou faible.



Tableau 3. Richesse spécifique et diversité fonctionnelle pour chacun des 20 secteurs inventoriés à Candiac. Les différents niveaux de diversité fonctionnelle sont définis selon la valeur de l'indice et correspondent à très faible (1,0 - 2,5), faible (2,6 - 5,0), intermédiaire niveau 1 (5,1 - 6,0), intermédiaire niveau 2 (6,1 - 7,0), élevé (7,1 - 8,0) et très élevé (8,1 - 9,0).

Secteur	Richesse spécifique	Diversité fonctionnelle	
		Indice	Niveau
1	79	6,8	Intermédiaire niv. 2
2	86	7,6	Élevé
3	29	4,9	Faible
4	12	6,7	Intermédiaire niv. 2
5	56	7,7	Élevé
6	38	6,7	Intermédiaire niv. 2
7	35	6,8	Intermédiaire niv. 2
8	33	6,4	Intermédiaire niv. 2
9	86	5,8	Intermédiaire niv. 1
10	68	6,1	Intermédiaire niv. 2
11	0	0	Nul
12	71	5,1	Intermédiaire niv. 1
13	54	3,8	Faible
14	74	5,9	Intermédiaire niv. 1
15	74	5,1	Intermédiaire niv. 1
16	27	7,0	Intermédiaire niv. 2
17	25	6,8	Intermédiaire niv. 2
18	73	6,7	Intermédiaire niv. 2
19	19	5,5	Intermédiaire niv. 1
20	41	7,0	Intermédiaire niv. 2
Ville	165	6,8	Intermédiaire

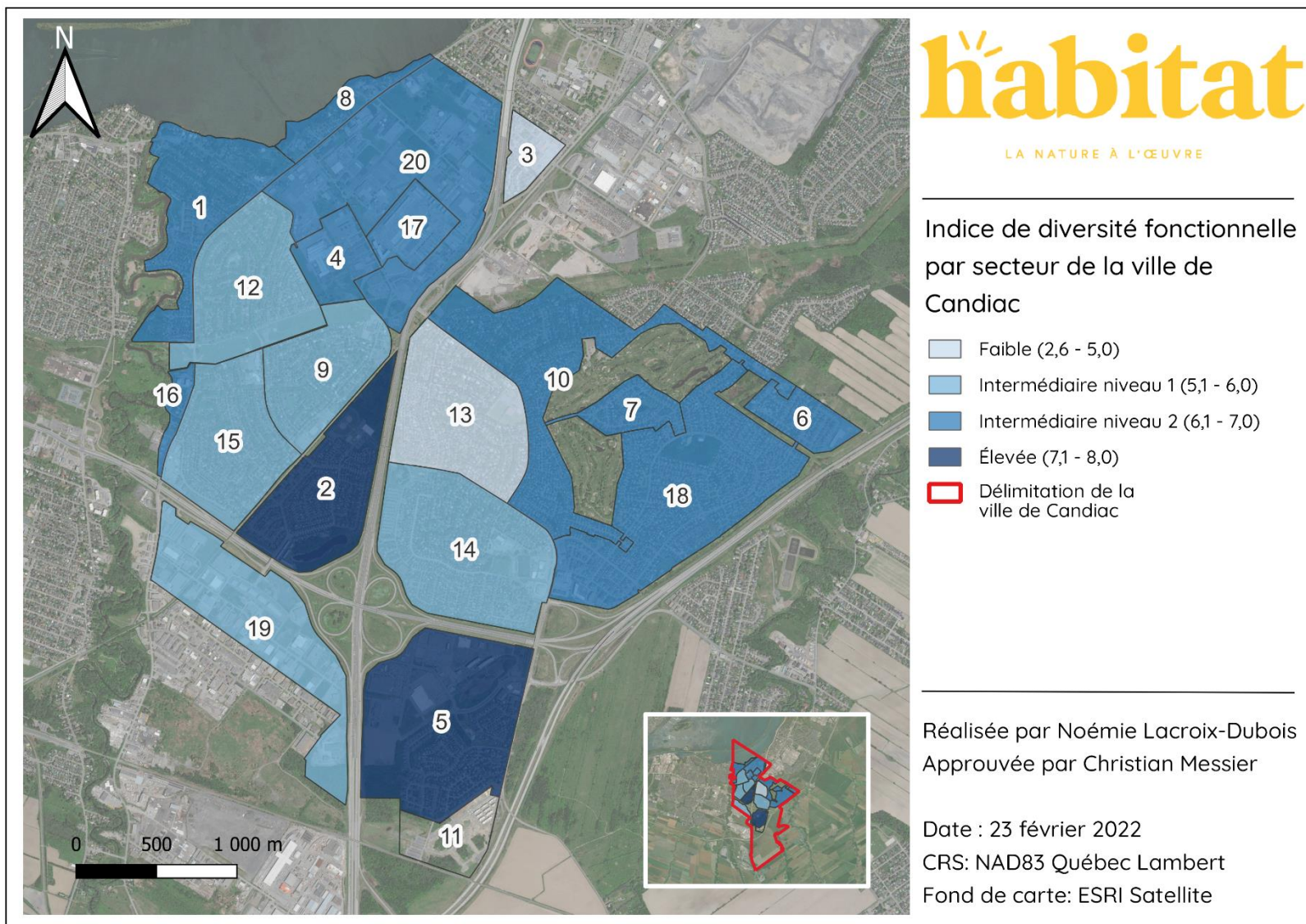


Figure 8. Indice de diversité fonctionnelle des arbres pour chacun des secteurs inventoriés à Candiac. À noter que le secteur 11 a un indice de diversité fonctionnelle nul puisqu'aucun arbre vivant n'y a été recensé.

2.5 Services écosystémiques rendus par les arbres urbains

Les arbres urbains de Candiac contribuent à la lutte contre les changements climatiques et à l'amélioration de la qualité de vie de la population. Dans le cadre de cette étude, l'évaluation des services écosystémiques (SÉ) rendus par les arbres urbains recensés – c'est-à-dire les arbres de rue, en façade ou en cour latérale des maisons et les arbres des parcs de la Ville – a été réalisée en utilisant le logiciel i-Tree Eco. Cette évaluation se base sur un total de 16 016 arbres (selon les critères d'intégration du logiciel) et inclut les services de séquestration et stockage du carbone, la captation des eaux de ruissellement, et l'amélioration de la qualité de l'air. Tous les services ont été évalués de façon biophysique et monétaire. Les valeurs obtenues sont regroupées au sein du tableau 4, la méthodologie détaillée pour chaque SÉ peut être consultée à l'annexe C.



Séquestration
de carbone

Les arbres urbains inventoriés retirent de l'atmosphère à eux seuls environ **456 tonnes de CO₂** (ou plus de 124 tonnes de carbone) **annuellement** via le processus de **séquestration du carbone**. Ce processus fait référence à la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) annuellement captée par les arbres et transformée en tissus vivants, le carbone. Il s'agit donc d'une quantité fluctuant d'une année sur l'autre selon la croissance de l'arbre. Ce résultat représente l'équivalent des émissions carboniques d'environ 107 foyers Canadiens par année (en électricité et chauffage) ou encore l'équivalent des émissions de 140 véhicules annuellement¹⁰. En termes monétaires, et selon la valeur assignée par le Gouvernement du Canada pour le coût social du carbone¹¹, ceci représenterait **près de 24 034 \$ par année** en dommages évités pour la société¹².



Stockage du
carbone

Au niveau de la **quantité totale de carbone stocké** dans les tissus ligneux (soit l'accumulation progressive de carbone au cours du temps), les arbres urbains de Candiac retiennent un total de **5 782 tonnes de carbone**, ce qui équivaut aux émissions de CO₂ de près de 5 000 foyers Canadiens pendant un an (en électricité et chauffage). Selon la valeur assignée par le Gouvernement du Canada pour le coût social du carbone¹¹, ceci représenterait **près de 1 117 730 \$** en dommages évités pour la société¹³. À noter que les autres types de milieux naturels (friches, milieux humides, forêts), les sols situés dans l'ensemble de la municipalité et les arbres de cours privées contribuent aussi grandement au stockage du carbone, bien qu'ils n'aient pas été inclus dans le cadre de ce mandat.

¹⁰ Natural Resources Canada. (2021). Greenhouse Gas Equivalencies Calculator. Government of Canada. <https://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/calculator/ghg-calculator.cfm#results>

¹¹ Le coût social du carbone représente une estimation théorique des dommages causés à la société à la suite d'une augmentation du carbone atmosphérique.

¹² Environment and Climate Change Canada, (2020). A healthy environment and a healthy economy canada's strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet, annex carbon pollution pricing, 79p. Consulté à: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/climate-plan/annex_pricing_carbon_pollution.pdf

¹³ Environment and Climate Change Canada, (2020). A healthy environment and a healthy economy canada's strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet, annex carbon pollution pricing, 79p. Consulté à: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/climate-plan/annex_pricing_carbon_pollution.pdf



Grâce au processus naturel de **captation des eaux de ruissellement**, les arbres urbains recensés absorbent près de **10 614 m³ d'eau annuellement**, soit l'équivalent de quatre piscines olympiques. Sans la contribution des arbres urbains, cette quantité d'eau serait envoyée vers les égouts et les centres d'épuration des eaux usées, ce qui engendrerait des coûts additionnels de filtration de **plus de 4 900 \$ annuellement** et augmenterait les risques d'inondations récurrentes.



Grâce à leur feuillage, les arbres urbains **améliorent la qualité de l'air** que nous respirons étant donné qu'ils absorbent de nombreux polluants atmosphériques néfastes à la santé humaine. Annuellement, les arbres urbains recensés dans la Ville de Candiac retirent **2,17 tonnes de polluants** de l'atmosphère. Selon des valeurs moyennes québécoises se rapportant à l'impact de la pollution sur le système de la santé¹⁴, l'impact sur la santé publique serait d'**environ 35 200 \$ annuellement** si cette quantité de polluants atmosphériques n'était pas filtrée par les arbres urbains.

Tableau 4. Synthèse de services écosystémiques analysés et rendus par les arbres urbains recensés à Candiac.

Service écosystémique	Valeur biophysique	Valeur monétaire
Séquestration du CO ₂	456 tonnes de CO₂ / an	24 034 \$ / an
Stockage du carbone	5 782 tonnes de carbone	1 117 730 \$
Évitement des eaux de ruissellement	10 614 m³ / an	4 900 \$ / an
Amélioration de la qualité de l'air	CO : 36,9 kg / an	CO : 45,4 \$ / an
	O ₃ : 1673,6 kg / an	O ₃ : 8 306,1 \$ / an
	NO ₂ : 223,7 kg / an	NO ₂ : 158,1 \$ / an
	SO ₂ : 82,92 kg / an	SO ₂ : 4,1 \$ / an
	PM _{2,5} : 154,6 kg / an	PM _{2,5} : 26 644,5 \$ / an
	Total : 2,2 tonnes / an	Total : 35 158 \$ / an

En bref, bien qu'il soit possible d'estimer de façon économique et quantitative la contribution des arbres urbains à l'amélioration de notre qualité de vie, il est important de garder en tête que ce portrait ne fournit qu'un aperçu partiel du rôle des arbres en milieu urbain. En plus de contribuer à la lutte aux changements climatiques, de filtrer l'air que nous respirons et de réguler les eaux de ruissellement, la forêt urbaine améliore aussi concrètement notre santé mentale, physique et émotionnelle¹⁵. En outre, elle participe grandement au maintien de la biodiversité dans nos écosystèmes, soit en fournissant des habitats à la faune locale, soit en favorisant leur déplacement à travers le territoire. À titre d'exemple, les bois urbains peuvent représenter des refuges et des couloirs de déplacement très favorables aux espèces fauniques et ils compensent ainsi en partie pour la grande fragmentation du paysage observée à plus large échelle. Ces milieux naturels sont ainsi

¹⁴ Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29(October 2017), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>

¹⁵ Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>

essentiels au mouvement des espèces et contribuent au maintien de la biodiversité à des échelles plus importantes que celle de la municipalité¹⁶.

2.6 Vulnérabilité des arbres urbains

Dans une perspective de résilience et d'adaptation aux changements globaux, le concept de [vulnérabilité de la forêt urbaine](#) aux menaces biotiques et abiotiques est central, tout en étant complémentaire à celui de diversité fonctionnelle, pour s'orienter vers une planification et une gestion stratégique des arbres urbains.

L'analyse de vulnérabilité réalisée par Habitat permet d'identifier, parmi les espèces recensées, celles qui sont les plus vulnérables à huit catégories de menaces : les insectes, les maladies, la pollution atmosphérique, la sécheresse, les tempêtes de vent, le verglas, les inondations et les écarts de température (la méthodologie détaillée de cette analyse est fournie à l'annexe D). La figure 9 représente les proportions des arbres vulnérables à ces différentes menaces pour la Ville de Candiac. Le tableau 5 en page 23 fournit une synthèse des espèces d'arbres de Candiac qui sont vulnérables à ces différentes menaces.

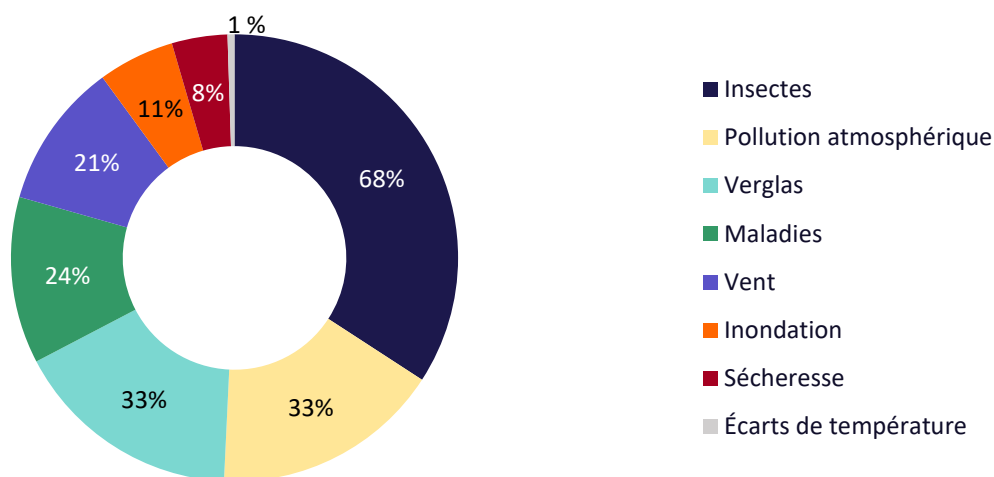


Figure 9. Pourcentages des arbres vulnérables aux menaces biotiques et abiotiques pour la Ville de Candiac (le total est supérieur à 100 %, car un arbre peut avoir plusieurs vulnérabilités).

Selon cette analyse de vulnérabilité :

- Les **insectes nuisibles** ont ou pourraient avoir des effets néfastes sur la santé de **plus du deux tiers des arbres** urbains recensés à Candiac. Ceci s'explique d'une part par le fait que 23 des 30 espèces les plus présentes à Candiac ont une vulnérabilité élevée (ou proche d'être élevée) aux insectes nuisibles. D'autre part, les deux espèces les plus abondantes à Candiac, l'érable argenté et l'érable de Norvège, sont des espèces particulièrement vulnérables aux épidémies d'insectes, qu'ils soient déjà présents sur le territoire comme la spongieuse (espèce de papillon ravageur) ou qu'ils soient susceptibles de s'y déplacer comme le longicorne asiatique (coléoptère invasif encore absent du

¹⁶ Gonzalez, A., Thompson, P., & Loreau, M. (2017). Spatial ecological networks: planning for sustainability in the long-term. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 29, pp. 187–197). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.03.012>



territoire québécois, mais très préoccupant). Le longicorne asiatique menace aussi d'autres espèces de feuillus et il pourrait entraîner le dépérissement, voire la mort des arbres attaqués. Heureusement, tous les types d'épidémies d'insectes n'entraînent pas nécessairement la mort des arbres. Certaines espèces de ravageurs peuvent avoir peu d'impact sur la santé des arbres à moins que leur présence soit combinée à d'autres menaces, comme une sécheresse. Il serait donc important d'irriguer les arbres urbains les plus vulnérables à la suite d'une sécheresse qui serait suivi d'une attaque par un ravageur comme la spongieuse.

- Parmi les menaces abiotiques étudiées, la **pollution atmosphérique** représenterait l'élément affectant le plus les arbres urbains recensés à Candiac : **33 % des arbres recensés** y sont sensibles, comme l'épinette du Colorado (*Picea pungens*) ou le lilas japonais (*Syringa reticulata*).
- Au niveau des extrêmes climatiques attendus pour la province, les vulnérabilités **au verglas, aux tempêtes de vent** et **aux inondations** sont parmi les plus préoccupantes des menaces abiotiques analysées. En effet, **respectivement 33 %, 21 % et 11 %** de la forêt urbaine y seraient particulièrement vulnérables.
- Les **maladies** représentent également une menace biotique à suivre de près, puisqu'**un quart des arbres** urbains recensés sont vulnérables ou très vulnérables à une ou plusieurs maladies variant en sévérité. Ces maladies incluent par exemple la maladie hollandaise de l'orme, le chancre du noyer cendré, le nodule noir, la maladie corticale du hêtre, les brûlures bactériennes ou la verticilliose qui affecte particulièrement les érables et les arbres fruitiers. En outre, certaines maladies, bien qu'elles ne soient pas encore présentes au Québec, sont bel et bien des menaces importantes sur la santé des arbres de nos villes.
- Bien qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des **sécheresses** soit attendue pour le Québec dans les prochaines années¹⁷, seuls **8 % des arbres** inventoriés à Candiac y sont particulièrement sensibles (figure 8).
- Finalement, les **écarts de températures** représentent la menace la moins préoccupante à Candiac **puisque seulement 1 % de la canopée** y est vulnérable. En effet, un grand nombre d'espèces inventoriées présentent déjà des caractéristiques de résilience élevée face aux écarts de température saisonniers (typique du climat nord-américain).

¹⁷ OURANOS. (2020). Adaptation aux changements climatiques : défis et perspectives pour la région de la Montérégie. Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), Gouvernement du Québec.

Tableau 5. Proportion (%) des arbres vulnérables à différentes catégories de menaces et espèces recensées (par ordre d'occurrence) qui sont les plus vulnérables ou les plus résistantes à ces menaces pour la Ville de Candiac.

Menace	% arbres	Espèces les plus vulnérables	Espèces les plus résistantes
Insectes	69 %	<i>Acer saccharinum, Acer platanoides, Picea pungens, Tilia cordata, Fraxinus pennsylvanica, Malus acer rubrum, Fraxinus americana</i>	<i>Celtis occidentalis, Ginkgo biloba, Gymnocladus dioicus, Acer rubrum,</i>
Pollution atmosphérique	33 %	<i>Picea pungens, Syringa reticulata, Malus, Fraxinus americana, Tilia americana, Thuja occidentalis, Populus deltoides</i>	<i>Ginkgo biloba, Quercus macrocarpa, Fraxinus spp</i>
Verglas	33 %	<i>Acer saccharinum, Gleditsia triacanthos, Celtis occidentalis, Tilia americana, Ulmus davidiana</i>	<i>Acer platanoides, Picea pungens, Tilia cordata, Malus, Ginkgo biloba, Thuja occidentalis, Quercus macrocarpa, Picea glauca, Aesculus glabra, Picea abies, Acer ginnala, Gymnocladus dioicus</i>
Maladies	24 %	<i>Picea pungens, Fraxinus pennsylvanica, Malus, Fraxinus americana, Quercus rubra, Populus deltoides, Quercus palustris, Quercus macrocarpa, Aesculus hippocastanum</i>	<i>Ginkgo biloba, Gymnocladus dioicus</i>
Tempête de vent	21 %	<i>Acer saccharinum, Celtis occidentalis</i>	<i>Picea glauca</i>
Inondations	11 %	<i>Picea pungens, Ginkgo biloba, Quercus macrocarpa, Picea abies.</i>	<i>Acer saccharinum, Acer platanoides, Fraxinus pennsylvanica, Acer rubrum, Tilia americana, Quercus palustris.</i>
Sécheresses	8 %	<i>Acer rubrum, Thuja occidentalis, Amelanchier canadensis.</i>	<i>Acer platanoides, Gleditsia triacanthos, Celtis occidentalis, Ginkgo biloba, Quercus macrocarpa, Quercus robur, Gymnocladus dioicus.</i>
Écarts de température	1 %	<i>Acer platanoides, Picea pungens, Tilia cordata, Thuja occidentalis, Aesculus glabra, Picea abies</i>	<i>Acer saccharinum, Gleditsia triacanthos, Malus, Acer rubrum, Celtis occidentalis, Tilia americana, Ulmus davidiana, Ginkgo biloba, Quercus rubra, Populus deltoides, Quercus palustris, Quercus macrocarpa, Acer x freemanii, Phellodendron amurense, Quercus robur, Acer ginnala, Amelanchier arborea.</i>

Finalement, sur la base de ces analyses, il est recommandé de réduire la pression que représente chacune de ces menaces, lorsque considérée individuellement. Une solution consiste à répartir de façon uniforme les différents groupes fonctionnels au sein du territoire pour ainsi minimiser le risque de perdre une grande quantité d'arbres du fait d'une seule menace. Cette pratique est d'autant plus importante que l'accumulation des différentes menaces peut être grave sur la canopée, et ainsi entraîner des conséquences au niveau de la survie des arbres urbains et donc sur le maintien de la canopée et des services qu'elle rend. Pour illustrer ce concept, on peut citer l'exemple de diversifier son portefeuille dans différents domaines économiques pour diminuer le risque de perdre son argent.

3. RECOMMANDATIONS

Partant du portrait de la forêt urbaine de Candiac dressé dans les sections précédentes de ce rapport, nous proposons ici plusieurs recommandations visant à accompagner la Ville dans la mise en place d'actions ciblées et concrètes pour améliorer la résilience de sa forêt urbaine face aux changements globaux.

Densifier la canopée urbaine pour le bien de la population et pour réduire les inégalités

En 2019, l'indice de **canopée** des arbres urbains de Candiac représentait **16,5 %** du territoire¹⁸, soit une valeur relativement faible si on la compare à celle des villes de la couronne Sud de la Communauté métropolitaine de Montréal qui atteint 23,4 %¹⁹.

- Compte tenu des nombreux bénéfices associés à la présence de végétation dans nos villes, des efforts de densification de la canopée sont recommandés au sein de la Ville, en priorisant les secteurs pour lesquels la densité d'arbres est la plus faible, comme les secteurs 11, 19, 4 et 20. Ces secteurs bénéficient actuellement d'un plus faible apport en services écosystémiques relativement au reste du territoire.
- Il serait aussi important d'identifier les zones les plus fréquentées par la population ou les îlots de chaleur sont importants afin d'y prioriser la plantation d'arbres. Dans ces zones, la ville pourrait envisager de planter une grande densité d'arbres qui seraient éventuellement éclaircis pour accélérer l'atteinte d'un couvert végétal élevé rapidement.
- Une analyse des espaces les plus propices à la plantation d'arbres devrait être faite afin de déterminer, dans les secteurs où la canopée est faible et ailleurs dans la ville, les endroits pertinents pour les nouvelles plantations d'arbres et ainsi augmenter l'indice de canopée.
- Une évaluation de la qualité, taille et composition des arbres privés devrait aussi être réalisée afin d'avoir un portrait complet de l'état de la forêt urbaine de Candiac et ainsi optimiser les interventions sur l'espace public et informer la population sur les bienfaits des arbres.
- Il est important que ces nouvelles plantations se basent sur le principe de diversification des groupes fonctionnels afin de favoriser des espèces aux caractéristiques biologiques encore sous-représentées. En plus d'améliorer la résilience de la canopée face aux changements globaux, cette approche permet de rééquilibrer l'apport en services écosystémiques au sein de la Ville et donc de réduire l'inégalité entre les secteurs.

Améliorer la diversité de la forêt urbaine pour minimiser les risques de perte face aux changements globaux

Le groupe fonctionnel 2, notamment le genre *Acer*, domine largement la forêt urbaine de Candiac. Cependant, comme les érables sont des espèces vulnérables à différentes menaces (ex. longicorne asiatique, chancre eutypelléen, carie, verglas), il existe un risque important de perte de canopée si l'une ou plusieurs de ces

¹⁸ Communauté métropolitaine de Montréal (2021) Portraits territoriaux, Candiac, observatoire Grand Montréal. https://cmm.qc.ca/pdf/portraits/Portrait_67020.pdf

¹⁹ https://cmm.qc.ca/pdf/portraits/Portrait_CS.pdf

menaces se confirmaient à Candiac. Par exemple, l'arrivée du longicorne asiatique pourrait affecter tous les érables de Candiac (soit 37 % de la forêt urbaine) et la majorité des autres feuillus.

- Face aux changements globaux, il est donc conseillé de diversifier en priorité les secteurs les plus dominés par les groupes fonctionnels 2AB et 2C, afin de diminuer l'abondance des érables plus généralement.
- En outre, les secteurs ayant un indice de diversité fonctionnelle très faible, faible ou intermédiaire niveau 1 sont aussi parmi les plus critiques (secteurs 11, 3, 13, 9, 12, 14, 15 et 19). Le tableau ci-dessous fournit des recommandations plus détaillées pour ces secteurs jugés prioritaires, afin d'orienter la Ville dans ses interventions visant à augmenter la diversité fonctionnelle de son territoire. De manière générale, les nouvelles plantations devraient prioriser des espèces aux caractéristiques biologiques encore sous-représentées dans chacun des secteurs de la Ville, et des espèces issues du groupe 5 devraient être prioritaires à l'échelle du territoire.

Secteurs	Indice de diversité fonctionnelle actuel	Recommandations de plantations prioritaires
11	Nul (0)	Pour ce secteur particulier, qui ne comprend aucun arbre en bonne santé, il est recommandé de sélectionner de façon équitable des espèces ayant les plus faibles vulnérabilités issues de tous les groupes fonctionnels (1, 2, 3, 4 et 5) pour les nouvelles plantations.
3 et 13	Très faible à faible (1 → 5,0)	Les groupes fonctionnels 1, 3, 4, et 5 sont sous-représentés (< 9 %) dans ces secteurs : il est recommandé de sélectionner autant que possible, et de façon équitable, des espèces issues de ces groupes pour toutes les nouvelles plantations. Ces groupes incluent par exemple, des conifères, des sapins, des thuyas, des pins, des mélèzes, des genévriers, du ginkgo (groupe 1), des rosacées, des lilas, des grandes rosacées, des espèces du genre <i>Catalpa</i> et <i>Maackia</i> (groupe 3), des chênes, des noyers, des caryers, des légumineuses (groupe 4) et finalement, des peupliers, des saules et des aulnes (groupe 5).
9, 12, 14, 15 et 19	Intermédiaire niveau 1 (5,1 → 6,0)	Les groupes fonctionnels 3 et 5 sont sous-représentés (< 10 %) dans ces secteurs : il est recommandé de sélectionner autant que possible, et de façon équitable, des espèces issues de ces groupes à raison de 60 % des nouvelles plantations. Les groupes fonctionnels 1 et 4 étant faiblement représentés, il est recommandé de les sélectionner afin de viser une proportion de 20 % pour chacun de ces deux groupes dans les nouvelles plantations. Ces groupes incluent par exemple des rosacées, des lilas, des grandes rosacées, espèces du genre <i>Catalpa</i> et <i>Maackia</i> (groupe 3), des chênes, des noyers, des caryers, des légumineuses (groupe 4) et finalement, des peupliers, des saules et des aulnes (groupe 5).

Secteurs	Indice de diversité fonctionnelle actuel	Recommandations de plantations prioritaires
1, 4, 6, 7, 8, 10, 16, 17, 18 et 20	Intermédiaire niveau 2 (6,1 → 7)	Il est recommandé de prioriser des espèces issues du groupe fonctionnel 5 dans les nouvelles plantations (jusqu'à 60 % des arbres nouvellement plantés afin de pouvoir rééquilibrer les groupes fonctionnels), et dans une moindre mesure des espèces issues du groupe fonctionnel 1 (environ 30 % des espèces pour ce groupe).
2 et 5	Élevée (7,1 → 8)	Il est recommandé de prioriser des espèces issues du groupe fonctionnel 5 dans les nouvelles plantations puisqu'il représente moins de 5 % des arbres actuellement dans ces secteurs (à hauteur de 60 %). En outre, dans une moindre mesure, il est recommandé d'y ajouter des espèces issues du groupe fonctionnel 3 (environ 30 % des espèces pour ce groupe).

Préserver la canopée et maintenir ses services écosystémiques

L'âge et la composition des arbres urbains influencent les services écosystémiques dont bénéficie la population. Les arbres à grand déploiement (ex. chênes) contribuent habituellement davantage à la production de SÉ que les petits arbres (ex. lilas). Ainsi, la diversification des arbres devrait aussi prendre en compte le type d'arbre à remplacer afin de ne pas diminuer la production actuelle en SÉ.

- En d'autres termes, il est recommandé de s'assurer de ne pas remplacer tous les érables par des arbres à petit ou moyen déploiement. Un arbre à grand déploiement devrait être remplacé par un autre arbre à grand déploiement afin de préserver les SÉ fournis par la canopée.

Régénérer et renforcer la canopée

La grande majorité des arbres urbains sont en bonne condition. Cependant, 9 % des arbres inventoriés sont des arbres morts ou en conditions critiques (mourants).

- Puisque ces arbres présentent un danger pour le public (risque de chute), il est recommandé d'identifier les arbres classés avec un indice de qualité très faible, qui sont classés selon un indice de qualité « D » et de planifier leur remplacement de façon prioritaire, par des espèces appartenant à des sous-groupes fonctionnels sous-représentés pour chaque secteur.
- L'érable de Norvège est par ailleurs une espèce envahissante qui menace l'intégrité écologique des milieux naturels avoisinants. Le remplacement des érables de Norvège en fin de vie représente aussi une excellente opportunité de diversifier la forêt urbaine de Candiac.



Protéger la canopée de la menace la plus préoccupante : les insectes.

Compte tenu de la vulnérabilité de la canopée aux insectes nuisibles et aux maladies, et étant donné la menace de certaines espèces d'insectes envahisseurs, il est fortement déconseillé de planter des espèces d'arbres dont la vulnérabilité aux menaces biotiques est connue et élevée. Par exemple, du fait de l'importance des dégâts occasionnés par l'agrile du frêne, il n'est pas conseillé de planter des frênes.

- Procéder à des inspections régulières des arbres de la Ville, d'abord pour identifier les arbres devenant dangereux ou présentant des maladies, mais aussi pour faire un suivi sur ceux déjà identifiés comme tels. Ces inspections sont importantes pour des aspects sécuritaires, mais aussi pour permettre la détection précoce des problèmes et pouvoir intervenir rapidement pour empêcher leur propagation.

Préparer la forêt urbaine aux menaces actuelles et à venir

Bien que les menaces liées aux écarts de températures ne soient actuellement pas les plus préoccupantes pour la forêt urbaine de Candiac, les menaces plus largement associées aux changements climatiques telles que les inondations, la sécheresse et les tempêtes de vent restent pour le moins préoccupantes. Ceci est d'autant plus vrai que le nombre de ces menaces est appelé à augmenter.

- Afin de maintenir la forêt urbaine de Candiac à un niveau faible de vulnérabilité face aux menaces climatiques, il est recommandé d'adapter les espèces à planter aux caractéristiques des secteurs et à leurs contraintes. Autrement dit, minimiser la plantation d'espèces vulnérables aux inondations dans les zones inondables, d'espèces vulnérables à la sécheresse dans les zones d'îlots de chaleur et dans des sols sableux ou à drainage rapide et d'espèces vulnérables aux tempêtes de vent globalement dans la Ville.
- Le verglas représente aussi une menace non négligeable pour près d'1/3 des arbres recensés à Candiac. Il est recommandé de favoriser la plantation d'espèces plus tolérantes au verglas dans les secteurs où les espèces vulnérables au verglas sont abondamment représentées et d'effectuer un élagage préventif régulier afin de minimiser la vulnérabilité des arbres aux verglas.
- Compte tenu des enjeux de sécurité publique, il est recommandé de favoriser des espèces qui sont tolérantes au verglas autour des emprises de lignes de distribution électriques et d'éviter l'érable argenté, l'érable Negundo et l'érable rouge²⁰.
- Il est également conseillé de faire un suivi et une inspection des arbres dont l'espèce est susceptible au verglas et qui ont un DHP élevé ou une condition qui n'est pas classée bonne ou excellente.

²⁰ Maria Isabel (2021) Identification of the most damaging environmental pressures for the urban trees of the northeast of north America: a Delphi approach. Mémoire à la maîtrise, Université du Québec à Montréal.

4. CONCLUSION

Les changements globaux qui affectent aujourd’hui les écosystèmes et leur bon fonctionnement sont sans précédent. À cela s’ajoute l’incertitude associée à l’évolution de ces changements dans le temps, comme l’arrivée de nouveaux insectes ravageurs sous l’effet des changements climatiques. Dans l’optique de minimiser les pertes au niveau de nos forêts urbaines, il est nécessaire de privilégier l’augmentation de la diversité des espèces arboricoles en se basant sur leurs caractéristiques biologiques, soit leur appartenance à un groupe fonctionnel. Une telle approche permettra de diminuer les risques de dommages élevés qu’un certain type de perturbations pourrait provoquer et ainsi contribuer à la pérennité des forêts urbaines et donc des services essentiels qu’elles fournissent à la société tels que la filtration de l’air que nous respirons, la réduction des effets liés aux îlots de chaleur, l’atténuation des risques d’inondation ou encore l’amélioration de notre santé physique et mentale.

Globalement, la forêt urbaine de Candiac a un indice de diversité fonctionnelle intermédiaire et elle est particulièrement vulnérable aux menaces liées aux insectes et aux maladies. Les prochaines interventions de plantation devraient donc prioriser les groupes fonctionnels encore sous-représentés et peu vulnérables à ce type de menaces et viser un meilleur équilibre dans la représentation des espèces fonctionnellement différentes. Par ailleurs, l’une des recommandations prioritaires est la réduction de la dominance de l’érable (représentant actuellement 37 % des arbres) par exemple via le remplacement des érables mourants par des espèces issues de familles différentes et plus complémentaires.

Au-delà du portrait fourni pour la forêt urbaine de Candiac, l’étude réalisée par Habitat se veut un outil d’aide à la décision visant à accompagner les gestionnaires de la Ville dans leurs démarches de gestion du territoire. Les Villes ont un rôle essentiel à jouer dans la lutte et l’adaptation aux changements globaux, en assurant par exemple la conservation et la résilience de leur forêt urbaine.

h'abitat

LA NATURE À L'ŒUVRE

ANNEXES



En se basant sur l'inventaire réalisé par la Ville de Candiac en 2014, l'inventaire réalisé par Habitat a été réalisé selon les étapes suivantes :

- + Validation de l'emplacement (géolocalisation) et de l'identification à l'espèce des arbres publics (de rues et de parcs) recensés en 2014, soit 12 572 arbres.
- + Mise à jour de l'inventaire dans le cas où les arbres ont été abattus depuis 2014.
- + Ajout à l'inventaire de certains arbres privés situés en façade ou en cour latérale lorsqu'il était possible de les identifier depuis la rue.
- + Ajout à l'inventaire des arbres urbains publics nouvellement plantés depuis 2014. Pour ces arbres, les critères suivants ont été collectés sur le terrain : la géolocalisation à l'aide de GPS Garmin eTrex 10 et Garmin eTrex 20x (précision de 3 m), l'identification à l'espèce, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) mesuré au ruban, le stress physique, un éventuel problème (ex. exposition des racines, blessure mécanique) et le niveau de dépérissement de la couronne (%).

À la suite de son inventaire, Habitat a combiné les données des deux années d'étude en une seule base de données. Lors de la combinaison des données, nous avons conservé les noms des colonnes de la version initiale de l'inventaire, la nomenclature des noms des espèces ainsi que les catégories utilisées pour caractériser les arbres (ex. les types de stress physiques, maladies, problèmes). Les modifications à l'inventaire sont davantage détaillées dans le document des métadonnées. Les données collectées ont été compilées sous forme d'un fichier géoréférencé (shapefile) et d'une base de données (fichier csv).

Par rapport à l'inventaire de 2014, c'est finalement 5 077 arbres qui ont été ajoutés à la base de données. L'inventaire final compte dès lors 17 649 arbres. Parmi ces arbres, 1 531 arbres sont répertoriés comme étant morts ou abattus, ce qui ramène à un total de 16 118 arbres vivants recensés sur le territoire de Candiac.

Le tableau A1 décrit la composition de la base de données mise à jour et le nombre d'arbres pris en compte pour chacune des analyses du présent mandat.

Tableau A1. Description de la base de données d'inventaire de 2021 et des nombres d'arbres sur lesquels se basent les différentes analyses du projet.

Inventaire pour la ville « Arbre_candiac_2021 »	Nb arbres
Total des arbres recensés	17 649
Arbres morts* (INDIC_QUAL=D)	1 531
Arbres vivants	16 118
Incluant :	
Arbres inconnus** (NOM_LATIN="", NA, AUTRE)	86
Valeur DHP manquante***	16
Inventaire analyse i-Tree	16 016
Inventaire analyse diversité fonctionnelle	15 963
Inventaire analyse vulnérabilité	15 218



La diversité est une caractéristique descriptive très importante pour évaluer la résilience d'une forêt urbaine face aux perturbations, notamment celles associées aux changements globaux. Il existe plusieurs manières de mesurer cette diversité.

L'approche traditionnelle de mesure de la diversité est basée sur le recensement du nombre d'espèces d'arbres présentes dans un inventaire. Cette mesure de diversité, aussi appelée **richesse spécifique**, est relativement facile à appliquer, mais elle demeure moins efficace que la diversité fonctionnelle pour mesurer la résilience face aux changements globaux puisque plusieurs espèces d'arbres distinctes (ex. frêne d'Amérique, frêne noir) partagent pourtant un grand nombre de caractéristiques qui les rendent vulnérables aux mêmes perturbations (ex. agrile du frêne).

L'approche mobilisée par Habitat, celle de la diversité fonctionnelle, repose sur le fait que les caractéristiques biologiques des arbres, aussi appelées traits fonctionnels, nous renseignent davantage sur leurs fonctions, leurs vulnérabilités et les services qu'ils produisent que leur classification en tant qu'espèces. En effet, ces caractéristiques biologiques, incluant par exemple la densité du bois ou la taille des semences, influencent le mode de fonctionnement des arbres et déterminent donc la façon dont ils vont répondre et s'adapter aux conditions environnementales. Face à l'incertitude liée aux changements globaux, une forêt urbaine résiliente sera une forêt composée d'espèces d'arbres variées ayant des tolérances et vulnérabilités diversifiées, lui permettant ainsi de mieux s'adapter au plus grand nombre de stress possible.

Une méthode simple d'application de l'approche fonctionnelle consiste à regrouper les espèces d'arbres selon la similitude de leurs traits fonctionnels, sous forme de **groupes fonctionnels**. L'approche pour la formation des groupes fonctionnels a été adaptée de Paquette et al. (2021) et Aquilué et al. (2021) en se basant sur dix traits fonctionnels. Les traits fonctionnels sont la masse des graines, la densité du bois, la tolérance à la sécheresse, la tolérance à l'ombre, la tolérance aux inondations, le vecteur de dispersion des graines, la masse foliaire spécifique, la teneur en azote, le mode de mycorhization et la division taxonomique (angiosperme ou gymnosperme). Ils ont été obtenus à partir des études de Niinemets et Valladares (2016) et Aubin et al. (2012). Les principales espèces d'arbres retrouvées dans les milieux urbains du Québec (indigènes et ornementales) ont ainsi été regroupées en 5 grands groupes qui se subdivisent en un total de 10 sous-groupes, ou 9 dans le cadre de ce projet (figure A2).

La liste complète des espèces comprises dans chacun des groupes fonctionnels est disponible sur le site de la Chaire de recherche CRSNG/Hydro-Québec sur le contrôle de la croissance de l'arbre²¹. Les individus identifiés seulement aux genres dont toutes les espèces appartiennent au même groupe fonctionnel ont été considérés comme faisant partie de ce même groupe fonctionnel. La diversité fonctionnelle se trouvant davantage entre les espèces qu'entre les variétés et cultivars, ceux-ci ont été classés dans les mêmes groupes que l'espèce à laquelle ils appartiennent (ex. *Acer platanoides* « Crimson King » → Groupe 2A comme *Acer platanoides*). Pour les hybrides, les traits fonctionnels des espèces parentes ont été documentés lorsque cela était possible (ex. *Acer x freemanii* → Groupe 2C comme *Acer rubrum* et *Acer saccharinum*). Les données sur les traits fonctionnels n'étant pas disponibles pour toutes les espèces, certains genres et espèces n'ont pu être classés dans un groupe fonctionnel.

Le calcul de l'indice de diversité fonctionnelle se fait sur la base du nombre de groupes fonctionnels présents et de leur abondance relative (Hill, 1973 dans Magurran, 2004). Cet indice correspond à l'indice d'entropie de

²¹ <https://www.arbresurbains.uqam.ca/fr/guidereboisement/guide.php>



Shannon qui, lorsque porté à l'exponentielle (*exp*), permet de calculer ce que l'on appelle **le nombre effectif de groupes fonctionnels (NEGF)**, où chaque groupe obtient un poids différent dans le calcul selon son abondance dans la zone étudiée.

Le NEGF, ou indice de diversité fonctionnelle, est calculé selon l'équation suivante, tirée de Aquilué et al. (2021) :

$$NEGF = \exp\left(-\sum_{i=1}^n p_i \log(p_i)\right)$$

où

n = le nombre total de groupes fonctionnels dans le peuplement / le territoire étudié et représente également la valeur maximale de diversité fonctionnelle.

p_i = l'abondance relative du groupe fonctionnel i dans le peuplement / le territoire étudié.

Cet indice prend une valeur minimale de 1 lorsqu'un seul groupe est présent dans la zone étudiée. La valeur maximale de l'indice est égale au nombre maximal de groupes fonctionnels, soit 9 dans le cadre de ce projet, et correspond à une communauté équitablement répartie au sein de chacun des 9 sous-groupes fonctionnels. Autrement dit, dans un cas idéal, tous les groupes fonctionnels seraient également représentés sur le territoire étudié (même nombre d'arbres par groupe fonctionnel). L'application de cet indice fournit donc un aperçu important quant à la répartition et la représentation des groupes fonctionnels au sein du territoire. Le tableau A1 présente les différentes classes de diversité fonctionnelle variant de très faible à très élevée.

Tableau A1. Niveau de diversité fonctionnelle selon l'indice de diversité fonctionnelle.

Indice de diversité fonctionnelle (ou NEGF)	Niveau de diversité fonctionnelle
1,0 à 2,5	Très faible
2,6 à 5,0	Faible
5,1 à 6,0	Intermédiaire niveau 1
6,1 à 7,0	Intermédiaire niveau 2
7,1 à 8,0	Élevée
8,1 à 9,0	Très élevée

1	1A	Conifères, tolérance à l'ombre, intolérance à la sécheresse ou à l'inondation, dispersion par le vent	Épinettes, sapins et thuyas et le pin blanc
	1B	Conifères, intolérance à l'ombre, tolérance à la sécheresse, dispersion par le vent	Pins, mélèzes, genévriers et ginkgo
2	2A	Tolérance à l'ombre, feuilles larges et minces, croissance moyenne, dispersion par le vent	Érables, tilleuls, magnolias, hêtre, ostryer et quelques petits arbres
	2B	Tolérance à l'ombre, feuilles larges et minces, croissance moyenne, dispersion par gravité	Marronniers
	2C	Grands arbres, tolérance à l'inondation, dispersion par le vent	Ormes, frênes, micocoulier, érable rouge, argenté, negundo
3	3A	Petits arbres, tolérance à la sécheresse, feuilles épaisses, croissance faible, dispersion par les animaux	Rosacées (sorbier, poirier, aubépine et amélanchier) et lilas
	3B	Arbres moyens, intolérance à l'inondation, dispersion par les animaux	Grandes rosacées, Catalpa, Maackia et d'autres espèces
4	4A	Grands arbres, tolérance à la sécheresse, dispersion par les animaux	Chênes, noyers et caryers
	4B	Grande tolérance à la sécheresse, intolérance à l'ombre ou à l'inondation, dispersion par les animaux	Légumineuses (févier, chicot, robinier, gainier)
5	5A	Tolérance à l'inondation, croissance rapide, dispersion par le vent	Peupliers, saules, aulnes et bouleaux (sauf le bouleau jaune)

Figure A2. Caractéristiques biologiques et écologiques des groupes fonctionnels formés avec les espèces d'arbre. Les groupes fonctionnels sont tirés et adaptés de Paquette et Messier (2016). À noter que compte tenu de leur similitude et dans l'optique de ne pas surreprésenter les marronniers, les groupes 2A et 2B ont été combinés (2AB).

Références

- Aubin, I., Messier, C., Gachet, S., Lawrence, K., McKenney, D., Arseneault, A., Bell, W., De Grandpré, L., Shipley, B., Ricard, J.-P., Munson, A.D. (2012). TOPIC - Traits of Plants in Canada.
- Aquilué, N., Messier, C., Martins, K. T., Dumais-Lalonde, V., & Mina, M. (2021). A simple-to-use management approach to boost adaptive capacity of forests to global uncertainty. *Forest Ecology and Management*, 481, 118692.
- Hill, M.O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54, 427–473 cited in Magurran, A. E., 2004, *Measuring biological diversity*, Blackwell Publishing: Oxford, UK. 256 p.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363 - 375. DOI: 10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x
- Niinemets, Ü., Valladares, F. (2006). Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate Northern Hemisphere Trees and Shrubs. *Ecological Monographs*. 76(4): 521-547. DOI: 10.1890/0012-9615(2006)076[0521:TTSDAW]2.0.CO;2



Paquette, A., Sousa-Silva, R., Maure, F., Cameron, E., Belluau, M., & Messier, C. (2021). Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62(February). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127157>

Paquette, A., Messier, C. (2016). Repenser la diversité – l’approche fonctionnelle. Chaire de recherche CRSNG / Hydro-Québec sur le contrôle de la croissance des arbres, Université du Québec à Montréal. <http://www.arbresurbains.uqam.ca/fr/guidereboisement/guide.php>

Les données utilisées (géolocalisation, nom d'espèce, DHP par arbre (1 à 6 troncs), condition de l'arbre) pour évaluer les services écosystémiques (SÉ) proviennent de l'inventaire réalisé en 2021 par Habitat et comptent un total de 16 016 arbres vivants recensés (102 arbres éliminés, car leur valeur de DHP est manquante ou le nom latin est inconnu).

Quatre SÉ ont été analysés avec le logiciel i-Tree-Eco v6.0.23 (USDA, 2021) soit la séquestration et le stockage de carbone, l'évitement des eaux de ruissellement et la filtration des polluants atmosphériques. Le logiciel fournit une estimation de l'approvisionnement des SÉ rendus en valeurs biophysiques associées aux arbres (ex. tonne de carbone, kilogramme des polluants atmosphériques, mètre cube d'eau). Ces valeurs biophysiques sont ensuite converties en valeurs économiques selon des référentiels locaux, appropriés et ajustés avec l'inflation pour représenter des valeurs de 2022 (tableau A2).

- + Le service de **séquestration de carbone** fait référence au processus de captation du carbone de l'atmosphère par les arbres et il est exprimé annuellement (contrairement au stockage de carbone qui est une valeur ponctuelle). Il est estimé en additionnant la croissance moyenne annuelle du diamètre de l'arbre (basée sur l'espèce, la classe de diamètre et le niveau de dépérissement de l'arbre) à son diamètre actuel afin d'estimer le carbone séquestré par l'arbre en une année (USDA Forest service, 2019). Pour convertir la séquestration de carbone en séquestration de CO₂, il suffit de multiplier le carbone séquestré par 3,67. Dans le cas de Candiac, la séquestration annuelle du carbone s'élève à 124,38 tonnes/an, soit environ 456,5 tonnes/an de CO₂ si l'on applique ce facteur de conversion.
- + Le **stockage de carbone** est basé sur la biomasse aérienne et la biomasse souterraine de l'arbre selon l'espèce et son diamètre. Il est évalué en utilisant des formules et des données de la littérature qui sont issues d'études forestières. Comme les arbres poussant en milieu ouvert et urbain tendent à avoir moins de biomasse, les valeurs de biomasse issues de i-Tree sont multipliées par un facteur de 0,8 afin de mieux correspondre aux conditions de croissance en milieu urbain (Nowak, 1994). Ensuite, les valeurs de biomasse sont multipliées par un facteur de 0,5 pour être converties en carbone puisqu'il est estimé que la biomasse d'un arbre est constituée à 50 % de carbone (Nowak et Crane, 2002). Dans le cas de Candiac, la quantité de carbone stocké dans les arbres urbains inventoriés s'élève à 5 782 tonnes, soit environ 21 221,30 tonnes de CO₂ si l'on applique le facteur de conversion de 3,67.
- + **L'évitement des eaux de ruissellement** est calculé en se basant sur l'interception des précipitations par les feuilles des arbres. Les valeurs correspondent à la différence entre le ruissellement annuel avec et sans végétation (USDA Forest service, 2019).
- + La **filtration des polluants atmosphériques** est calculée selon la quantité de polluants absorbés par les stomates de l'arbre et via l'interception par le feuillage. Ce service prend en compte les polluants suivants : ozone (O₃), monoxyde de carbone (CO), dioxyde d'azote (NO₂), dioxyde de soufre (SO₂) et les particules fines de moins de 2,5 microns (PM_{2,5}). Le PM_{2,5} serait particulièrement pertinent comme indicateur d'effets néfastes de la pollution de l'air sur la santé humaine. Les valeurs utilisées sont dérivées d'estimations venant de la littérature (Balducchi, 1988; Balducchi et al. 1987; Bidwell et Fraser 1972; Lovett 1994; Zinke, 1967).

À noter que les données météorologiques requises pour l'estimation des services liés à l'évitement des eaux de ruissellement et à la filtration des polluants atmosphériques proviennent de la station météorologique de Montréal St-Hubert (données de 2018 pour les précipitations; données de 2010 pour les polluants atmosphériques, seule année pour laquelle des données sur la qualité de l'air sont disponibles). Les cultivars

et variétés ont été traités comme s'il s'agissait de l'espèce principale par manque de données pour l'évaluation des SE.

Tableau A3. Description des taux de conversion monétaires utilisés pour chacun des services écosystémiques évalués.

Service écosystémique	Taux de conversion monétaire ¹	Description	Référence
Séquestration du CO ₂	52,67 \$/tonne de CO ₂	Ces valeurs représentent le coût social du carbone, c'est-à-dire l'estimation théorique des dommages et coûts causés à la société à la suite de l'augmentation d'une tonne de carbone atmosphérique.	Environnement et Changements Climatiques Canada (2016 et 2020)
Stockage du carbone	193,30 \$/tonne de carbone		
Filtration des polluants atmosphériques	CO : 1 745 \$/tonne	Le coût économique est représenté selon les impacts sur la santé (mortalité et maladies respiratoires évitées) de chaque polluant atmosphérique. Les valeurs sont basées sur les moyennes des données des villes québécoises.	Nowak et al. (2018)
	O ₃ : 4 856 \$/tonne		
	NO ₂ : 344 \$/tonne		
	SO ₂ : 84 \$/tonne		
Évitement des eaux de ruissellement	PM _{2,5} : 252 830 \$/tonne	Cette valeur tient compte du coût de traitement des eaux usées par l'usine d'épuration ainsi que du coût de circulation des eaux usées dans le réseau d'égout. Elle est basée sur une étude menée pour la Ville de Québec.	Ministère des Affaires municipales et Occupation du territoire, Québec (2015)
	0,46 \$/m ³		

¹ Les valeurs monétaires ont été converties en valeurs 2021, en tenant compte de l'inflation. <https://www.banqueducanada.ca/taux/renseignements-complementaires/feuille-de-calcul-de-linflation/>

Références

- Baldocchi, D. 1988. A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment*, 22: 869-884.
- Baldocchi, D.D., Hicks, B.B. et Camara, P. 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*, 21: 91-101.
- Bidwell, R.G.S. et Fraser, D.E. 1972. Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*, 50:1435-1439.
- Environnement et Changements Climatiques Canada 2016. Mise à jour technique des estimations du coût social des gaz à effet de serre réalisées par Environnement et Changements Climatiques Canada.



- Environment and Climate Change Canada, (2020). A healthy environment and a healthy economy canada's strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet, annex carbon pollution pricing, 79p. Consulté à : https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/climate-change/climate-plan/annex_pricing_carbon_pollution.pdf
- Hirabayashi, S. 2015. i-Tree Eco United States County-Based Hydrologic Estimates. 10 p.
- Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications*, 4: 629-650.
- Ministère des Affaires Municipales et Occupation du Territoire (MAMOT) 2015. Indicateurs de gestion 2014 pour la municipalité locale de Québec. 22 p. https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/profil-financier/docs/indicateurs_gestion_2014.pdf
- Nowak, D.J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G.; Nowak, D.J.; Rowntree, R.A., eds. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.
- Nowak, D. J. et Crane, D. E. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental pollution*, 116(3), 381–389.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E. et Dwyer, J.F. 2002a. Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*. 28(4): 194 - 199.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C. et Ibarra, M. 2002b. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 107 p.
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., MCGovern, M., et Pasher, J. 2018. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40-48. doi:10.1016/j.ufug.2017.10.019
- USDA Forest Service. 2019. i-Tree Software Suite v6.0.22 Online. URL <https://www.itreetools.org>
- Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. In: Sopper, W.E.; Lull, H.W., eds. *Forest Hydrology*. Oxford, UK: Pergamon Press: 137-161.

Afin de déterminer la susceptibilité des arbres urbains de Candiac aux perturbations actuelles et futures, nous avons évalué leur vulnérabilité face aux changements globaux et à l'environnement urbain. La vulnérabilité et la tolérance des arbres urbains sont évaluées en associant les données issues d'inventaires des arbres à une matrice de vulnérabilité aux perturbations. Cette matrice, combinée par Habitat à partir des données de Matthews et al. (2011), Brandt et al. (2017), NIACS (2021) et Rutledge (2021), regroupe 233 espèces habituellement retrouvées dans les villes de l'Amérique du Nord. Les perturbations incluent les insectes, les maladies, le vent, le verglas, les écarts de températures, la pollution atmosphérique, la sécheresse et les inondations. La vulnérabilité de chaque espèce à une perturbation varie de très élevée à très faible. Les espèces considérées comme vulnérables sont celles ayant une cote de -3 ou -2 alors que les espèces considérées comme tolérantes à une perturbation ont une cote de 2 ou 3. Celles qui sont neutres ont une cote de 0.

Les cultivars et variétés qui ne sont pas présents dans la matrice de vulnérabilité ont été ramenés à l'espèce et au genre. Ainsi, la vulnérabilité a pu être évaluée pour environ 95 % des arbres recensés à Candiac. Les 5 % restants (798 arbres sur les 16016) n'ont pu recevoir une évaluation puisque les données n'étaient pas disponibles pour ces individus.

Références

- Brandt, L. L. A., Lewis, A. D., Scott, L., Darling, L., Fahey, R. T., Iverson, L. R., ... & Swanston, C. W. 2017. Chicago wilderness region urban forest vulnerability assessment and synthesis. General technical report NRS; 168.
- Matthews, S.N., Iverson, L.R., Prasad, A.M., Peters, M.P., Rodewald, P.G. 2011. Modifying climate change habitat models using tree species-specific assessments of model uncertainty and life history-factors. *Forest Ecology and Management*. 262(8): 1460- 1472.
- Northern Institute of Applied Climate Science (NIACS). 2021. Climate change vulnerability of urban trees. Seattle, Washington. <https://forestadaptation.org/assess/ecosystem-vulnerability/urban/seattle>
- Rutledge, A. 2021. Seattle Region: Climate Projections & Tree Species Vulnerability. Summary Report from the Northern Institute of Applied Climate Science (NIACS). 56 p. <https://forestadaptation.org/assess/ecosystem-vulnerability/urban/seattle>



www.habitat-nature.com
5818 Blvd Saint-Laurent, Montréal, H2T 1T3, QC
info@habitat-nature.com | (438) 825-4445