
Rapport final

Recommandations pour une forêt urbaine plus résiliente face aux changements globaux : une évaluation basée sur la diversité fonctionnelle

Municipalité de Ripon

Avril 2019

DE :



POUR :



Eco²Urb

Issue d'un spin-off universitaire, la mission d'Eco²Urb est de mettre en application les plus récentes avancées scientifiques en écologie, économie et gouvernance afin de faciliter des prises de décisions concernant l'aménagement du territoire, que ça soit à l'échelle locale, régionale ou au-delà.

Les professeurs Dupras, Gonzalez et Messier ont lancé Eco²Urb afin de répondre à une demande croissante quant à leur approche d'analyse et de gestion d'écosystèmes et de ressources naturelles.

L'équipe d'Eco²Urb dirige des laboratoires de pointe en écologie et évolution, science forestière et économie écologique. Elle offre des approches innovatrices quant au **développement de solutions pour l'aménagement du territoire**. L'équipe met un accent particulier sur la planification à long terme et sur la prise en compte **des risques associés à différents scénarios de changements climatiques et globaux et au changement de l'utilisation des sols**.

Parmi les services offerts, Eco²Urb propose notamment l'utilisation d'un nouvel outil informatique, *iForUrb*, intégrant les plus récentes données disponibles en écologie afin de réaliser une **analyse de la diversité d'un territoire** et proposer des recommandations ciblées pour en **améliorer la résilience face aux perturbations**.

Équipe de réalisation

Technicienne pour l'inventaire forestier :	Lara Griffiths, M. Sc.
Chargé·e·s de projet :	Véronique Dumais-Lalonde, M. Sc. A. Kyle T. Martins, M. Sc.
Coordonnatrice de projet :	Fanny Maure, Ph. D.
Direction scientifique :	Christian Messier, ing. for., Ph. D.

Sommaire exécutif

Les changements climatiques, la pollution et l'arrivée d'insectes ou de maladies exotiques menacent grandement la santé et la survie des arbres urbains et périurbains. Pourtant, en plus de leurs rôles esthétique, récréatif et patrimonial, les arbres urbains et périurbains sont essentiels à notre bien-être et notre santé puisqu'ils nous fournissent de nombreux services, dits **services écosystémiques**. Ces services, qui peuvent avoir des bénéfices sociaux, économiques et environnementaux, incluent par exemple l'amélioration de la qualité de l'air, l'amélioration de la santé physique et mentale, la régulation des températures ou encore le maintien de la biodiversité. Dans le contexte actuel des changements globaux, la production de tels services est donc aussi directement menacée. Afin d'améliorer la **résilience** des **forêts urbaines** et donc assurer le maintien des services qui sont fournis, il est nécessaire d'y maintenir une grande diversité et ce, aussi bien au niveau de la diversité en espèces que de la diversité des fonctions qui sont remplies par ces espèces, permettant ainsi de combiner un large spectre de tolérances face à différents stress.

Réalisée sur le territoire de la municipalité de Ripon, cette étude fournit :

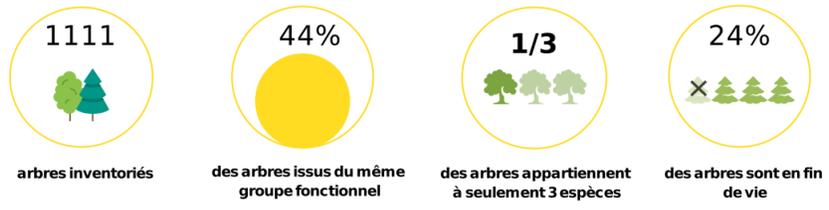
- Un inventaire des arbres urbains publics de la municipalité de Ripon ;
- Une estimation des services écosystémiques dont bénéficient les citoyen·ne·s grâce aux arbres urbains publics présents ;
- Une estimation de la couverture de la canopée de Ripon et des services associés à ce couvert ;
- Une analyse de la diversité fonctionnelle des arbres urbains publics de Ripon ;
- Une estimation de la vulnérabilité des espèces présentes face aux menaces climatiques et biotiques (insectes et maladies exotiques) ;
- Des recommandations ciblées de plantations d'arbres afin d'améliorer la résilience de la forêt urbaine face aux perturbations présentes et futures.

Les principaux résultats sont résumés à la page suivante.

La forêt urbaine de Ripon

Inventaire

Arbres urbains publics de la municipalité de Ripon



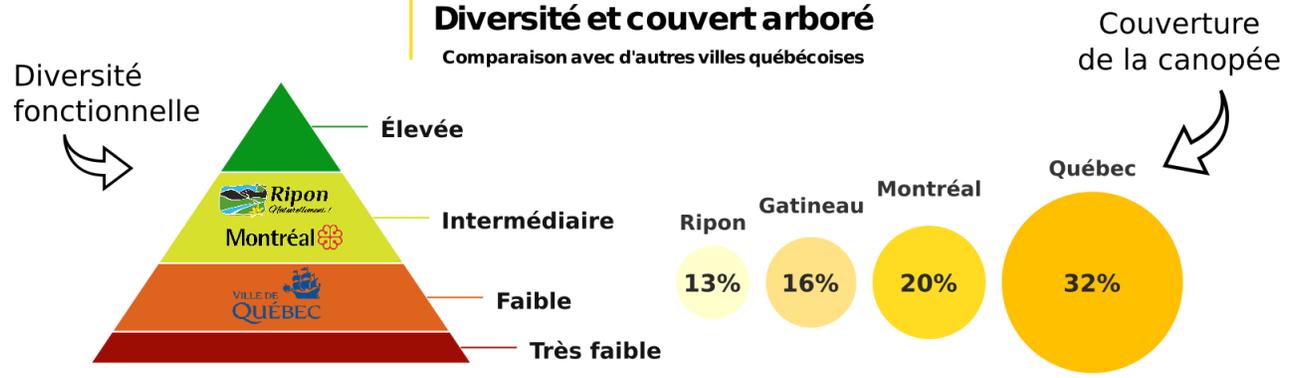
Services annuels fournis

Bien-être, santé et qualité de vie des citoyen-ne-s



Diversité et couvert arboré

Comparaison avec d'autres villes québécoises



Plan de verdissement

Optimisation de la résilience

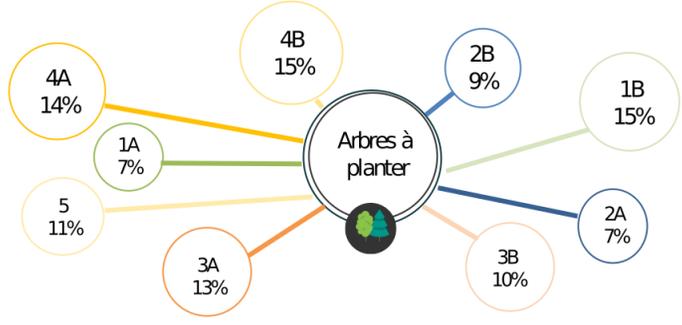


Table des matières

Sommaire exécutif.....	3
1. Introduction.....	8
2. L’approche par la diversité fonctionnelle.....	9
3. Méthodologie	11
3.1. Inventaire des arbres urbains publics.....	11
3.2. Estimation des services écosystémiques des arbres urbains publics.....	12
3.3. Estimation du couvert arboré total (incluant les parcs et arbres privés) et des services associés	12
3.4. Analyse de la diversité fonctionnelle.....	12
3.5. Analyse de la vulnérabilité des arbres urbains publics	13
4. Résultats	15
4.1. Inventaires des arbres urbains publics	15
4.2. Estimation des services écosystémiques des arbres urbains publics.....	16
4.3. Estimation du couvert arboré et des services associés	17
4.4. Analyse de la diversité fonctionnelle.....	18
4.5. Analyse de la vulnérabilité des arbres urbains publics	22
4.5.1. Menaces biotiques : les insectes et les maladies exotiques	22
4.5.2. Menaces abiotiques : les événements de sécheresse.....	24
4.5.3. Impacts potentiels associés à la disparition de deux espèces d’arbres dominantes	24
5. Recommandations pour améliorer la résilience de la forêt urbaine	26
6. Conclusion	27
7. Références.....	28
8. Annexes	31
Annexe 1 : Liste des espèces les plus abondantes dans le sud du Québec et de leur groupe fonctionnel	31
Annexe 2 : Espèces d’arbres inventoriées à Ripon.....	38
Annexe 3 : Liste des tronçons de rue de Ripon et des groupes fonctionnels à prioriser pour améliorer la diversité fonctionnelle.....	40
Annexe 4 : Carte illustrant le code de chacun des tronçons de rue de Ripon	42

Liste des figures

Figure 1. Caractéristiques biologiques et écologiques des groupes et des sous-groupes fonctionnels formés avec les espèces d’arbres.	10
Figure 2. Localisation de la zone d’étude a) à l’échelle du Québec, b) à l’échelle de la municipalité de Ripon et c) à l’échelle du centre urbain.....	11
Figure 3. Proportion des 10 genres les plus dominants parmi les arbres inventoriés à Ripon.....	15
Figure 4. Répartition des arbres inventoriés à Ripon selon leur état de santé général.....	16
Figure 5. Répartition (en %) des espèces inventoriées à Ripon selon la classification en groupes fonctionnels. ..	19
Figure 6. Répartition (en %) des arbres urbains de Ripon selon leur niveau de vulnérabilité face aux potentiels stress et menaces anticipés.....	22
Figure 7. Répartition (en %) des arbres urbains de Ripon selon le nombre de menaces biotiques auxquelles ils sont potentiellement exposés.....	23
Figure 8. Répartition (en %) des arbres inventoriés à Ripon selon leur degré de tolérance à la sécheresse.	24
Figure 9. Fréquence de la perte en services écosystémiques (exprimé en % des services actuellement rendus) suite à la disparition hypothétique de deux des 10 espèces les plus abondantes de la forêt urbaine de Ripon.....	25

Liste des tableaux

Tableau 1. Signes visuels observés pour déterminer l’état de santé des arbres inventoriés.....	11
Tableau 2. Niveaux de diversité fonctionnelle selon les indices de diversité calculés.	13
Tableau 3. Niveaux de vulnérabilité des espèces arboricoles selon leur cote de capacité d’adaptation.....	14
Tableau 4. Valeurs unitaires et monétaires des services écosystémiques fournis par les arbres de l’inventaire de Ripon.....	17
Tableau 5. Estimation des services écosystémiques associés à la canopée urbaine de Ripon, calculée à partir d’une photo aérienne et de iTree Canopy.....	18
Tableau 6. Liste des menaces biotiques potentiellement les plus dommageables pour la forêt urbaine de Ripon.	22

Liste des cartes

Carte 1. Représentation de la diversité fonctionnelle des différents tronçons de rue de la municipalité de Ripon.	20
Carte 2. Carte illustrant les groupes fonctionnels à prioriser pour chacun des tronçons de rue de la municipalité de Ripon, dans l’optique d’en améliorer la diversité fonctionnelle et donc la résilience. Les groupes sont présentés en ordre de priorité, le groupe le plus prioritaire étant celui de gauche.....	21

Définitions

Biodiversité : diversité des écosystèmes, des espèces et des gènes dans l'espace et dans le temps, ainsi que les interactions au sein et entre ces niveaux d'organisation.

Forêt urbaine : regroupe toutes les unités boisées situées en milieu urbain et péri-urbain.

Résilience : capacité d'un organisme ou d'un système à absorber une ou des perturbations environnementales sans se modifier ou à se réorganiser rapidement afin de maintenir ses principaux services et fonctions.

Richesse spécifique : nombres d'espèces présentes dans une zone donnée.

Services écosystémiques : biens et services fournis par les écosystèmes (naturels et semi-naturels) et dont bénéficient tous les êtres humains. Ces services incluent les services d'approvisionnement (nourriture, eau, combustible, fibres, etc.), les services de régulation (climat, érosion, maladies, etc.), les services culturels (bénéfices récréatifs, esthétiques et spirituels) et les services de support (formation des sols, production primaire, air respirable, etc.)¹.

Trait fonctionnel : caractéristique biologique d'une espèce affectant directement sa croissance ou sa survie (ex : hauteur maximale, vitesse de croissance, taille des semences, tolérance à la sécheresse). L'ensemble des traits fonctionnels d'une espèce influencent donc la façon dont celle-ci va répondre et s'adapter à différentes conditions environnementales, dont les stress biotiques et abiotiques.

¹ Millennium Ecosystem Assessment (2005)

1. Introduction

Les arbres urbains et périurbains, et plus généralement les forêts urbaines, contribuent au bien-être, à la qualité de vie et à la santé des citoyen·ne·s du fait des nombreux bénéfices qu'elles procurent. En effet, au-delà de leurs rôles esthétique, récréatif et patrimonial, ces forêts urbaines fournissent une grande variété de services, dits **services écosystémiques**, tels que l'amélioration de la qualité de l'air, l'amélioration de la santé physique et mentale, la régulation des températures ou encore le maintien de la biodiversité².

Pourtant, dans le contexte actuel des changements globaux, les forêts urbaines font face à de nombreux facteurs de stress qui pourraient menacer leur survie et donc l'approvisionnement en services pour les citoyen·ne·s. En plus de leurs conditions de croissance déjà particulièrement difficiles (espaces aérien et racinaire restreints, sels de déglacage, compactage du sol, blessures mécaniques, etc.), les forêts urbaines sont soumises aux changements climatiques, ainsi qu'à toutes les potentielles menaces biotiques (insectes ou maladies) actuellement présentes sur le territoire québécois ou bien susceptibles de s'y établir.

Au niveau du climat, les tendances pour le Québec pour l'horizon 2041-2070 (selon le scénario d'émissions élevées de GES) sont une augmentation de la fréquence des événements de sécheresse, une augmentation de la fréquence et de la sévérité des vents violents, une augmentation générale des températures et une augmentation de la fréquence et de la sévérité des événements météorologiques extrêmes³. Dans le cas de Ripon, on s'attend plus spécifiquement à une hausse d'environ 3,1°C de la température moyenne annuelle, une augmentation d'environ 97 mm des précipitations annuelles, une baisse d'environ 12 jours en moyenne des cycles gel-dégel et une augmentation moyenne annuelle d'environ 21,9 jours pour les jours où la température est au-delà de 30°C.

Au niveau des menaces biotiques, une augmentation des dommages causés par des insectes ou des maladies exotiques est à prévoir et ce, notamment du fait de l'augmentation des échanges commerciaux à travers le monde⁴. Avec des taux de mortalité très importants, plusieurs de ces agents biotiques ont des effets dévastateurs sur la canopée des municipalités québécoises. À titre d'exemple, l'agrile du frêne est en voie de décimer les populations de frêne à travers les villes nord-américaines⁵ et les coûts d'un tel ravage ne cessent d'augmenter pour les municipalités et villes concernées. De plus, les changements climatiques pourraient favoriser la prolifération d'agents biotiques, augmentant ainsi les dommages causés par ces perturbations⁶.

Ainsi, afin de ne pas risquer de perdre nos forêts urbaines et donc les services essentiels qu'elles nous fournissent, il devient primordial de mettre en place des stratégies visant à **améliorer leur résilience**, c'est-à-dire leur capacité à récupérer ou à s'adapter à la suite de perturbations, et ainsi leur permettre de mieux résister face au plus large spectre de stress possible. Pour se faire, le maintien de la diversité des arbres est à favoriser afin de réduire la vulnérabilité des forêts urbaines face à l'incertitude liée aux changements globaux.

² Elmqvist *et al.* (2008); Beatley (2011); Schipperijn *et al.* (2013); Van Herzele & Wiedemann (2014)

³ Ouranos (2018)

⁴ Lovett *et al.* (2016)

⁵ Knight *et al.* (2008); McCullough and Mercader (2011).

⁶ Barrow *et al.* (2004); Yang (2009); Ordonez and Duinker (2015).

Dans cette étude, nous proposons d'intégrer les plus récentes avancées et outils scientifiques en écologie, foresterie et en gestion de la résilience afin d'évaluer la diversité de la forêt urbaine de la municipalité de Ripon et d'émettre des recommandations pour en améliorer la résilience.

2. L'approche par la diversité fonctionnelle

L'approche proposée par Eco²Urb se base sur les dernières avancées scientifiques dans le domaine et repose sur le fait que les caractéristiques biologiques d'un arbre, aussi appelées **traits fonctionnels**, nous renseignent davantage sur leurs fonctions, leurs vulnérabilités et les services remplis que leur classification en tant qu'espèce. En effet, ces caractéristiques biologiques, incluant par exemple la vitesse de croissance, la taille des semences ou encore la tolérance à la sécheresse, affectent la performance d'un arbre et déterminent donc la façon dont il va 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 (figure 1). À ce jour, cinq grands groupes fonctionnels (dont certains sont divisés en sous-groupes) ont été identifiés pour les espèces les plus abondantes du sud du Québec⁷. La liste complète des espèces incluses dans chacun des groupes fonctionnels formés est présentée à l'annexe 1. En s'assurant de maintenir une bonne diversité dans les groupes fonctionnels présents au sein de la forêt urbaine, et ce en proportion plus ou moins égales, on augmente la résilience de la forêt urbaine face aux perturbations.

⁷ Paquette (2016)

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	Grands arbres, tolérance à l'inondation, dispersion par le vent	Ormes, frênes, micocoulier, marronniers, érable rouge/argenté
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 1. Caractéristiques biologiques et écologiques des groupes et des sous-groupes fonctionnels formés avec les espèces d'arbres.

3. Méthodologie

3.1. Inventaire des arbres urbains publics

Afin de pouvoir procéder à l'analyse de la forêt urbaine de la municipalité de Ripon, un inventaire des arbres de rues de la municipalité a été effectué (figure 2). Cet inventaire inclut le recensement et la localisation de tous les arbres publics ainsi que ceux des arbres privés lorsque ceux-ci étaient visibles à partir de la rue. À noter que les arbustes et les haies n'ont pas été pris en compte lors de l'inventaire. Pour chaque arbre inventorié, l'espèce, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) (mesuré ou estimé visuellement par classes d'intervalle lorsqu'inaccessible), l'état de santé général (en bonne santé ou déclinant), ainsi que l'adresse de la maison comme référence pour la localisation, ont été enregistrés. Pour les arbres à troncs multiples, le DHP noté correspond à la valeur moyenne ou à celle du plus gros tronc.

L'état général de santé de chaque arbre a été déterminé sur la base de la présence de signes de déclinant tel que décrit dans le tableau 1 ci-dessous.

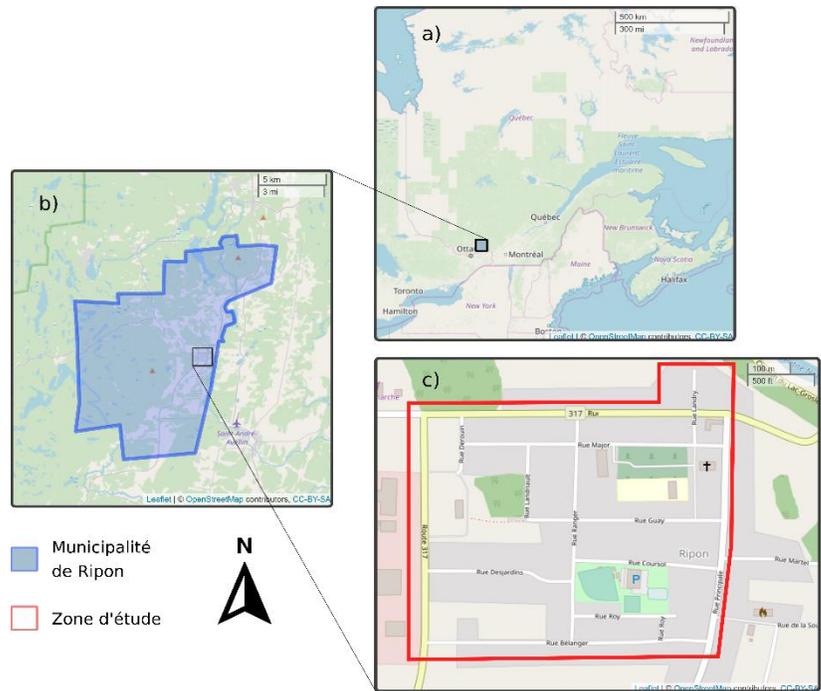


Figure 2. Localisation de la zone d'étude a) à l'échelle du Québec, b) à l'échelle de la municipalité de Ripon et c) à l'échelle du centre urbain.

Tableau 1. Signes visuels observés pour déterminer l'état de santé des arbres inventoriés.

Signes observés sur le terrain	Conclusion quant à la santé de l'arbre
Aucun signe de déclinant ou blessure mécanique Bonne vigueur de la couronne	Arbre en bonne santé
Présence mineure de signes de déclinant Couronne moyennement vigoureuse	Arbre en moyenne santé
Présence importante de signes de déclinant et/ou blessures et/ou d'insectes ou pathogènes. Faible vigueur de la couronne.	Arbre déclinant

3.2. Estimation des services écosystémiques des arbres urbains publics

En utilisant les données d'inventaire de la municipalité de Ripon et le logiciel iTree Eco v.6⁸, une estimation complète des services écosystémiques qui sont fournis par les arbres urbains publics de Ripon a été réalisée. Ce logiciel se base sur l'identification de l'espèce des arbres répertoriés, plusieurs mesures de leur structure aérienne ainsi que sur certains de leurs traits fonctionnels (c.-à-d. des traits liés à leurs caractéristiques biologiques comme l'indice de surface foliaire). Une fois que chaque arbre de l'inventaire est identifié par un nom d'espèce, un emplacement géographique et un diamètre à hauteur de poitrine (DHP), les estimations de la structure aérienne et des traits fonctionnels associés sont automatiquement calculées par le logiciel. Cette analyse fournit donc une estimation précise des services fournis puisque les caractéristiques de chacune des espèces présentes sont prises en compte.

3.3. Estimation du couvert arboré total (incluant les parcs et arbres privés) et des services associés

À l'aide de l'outil iTree Canopy, nous avons estimé le couvert arboré total de la municipalité de Ripon⁸. Ce logiciel permet une estimation de l'étendue de la canopée de la forêt urbaine du territoire à l'étude à partir d'une photo aérienne de Google Earth. Il permet donc de considérer aussi bien les arbres publics que privés et inclut aussi les parcs situés au sein de la municipalité. En se basant sur une série de points aléatoirement distribués sur la carte (environ 150 points), on procède à une calibration de l'outil en lui indiquant ce qui est un arbre et ce qui n'en est pas un, puis le logiciel analyse ensuite l'ensemble du territoire délimité.

En lien direct avec ces résultats, iTree Canopy permet aussi de faire une analyse des services fournis par les arbres urbains grâce à leur canopée (donc leurs feuilles). Ces services se rapportent à l'amélioration de qualité de l'air. À la différence des services écosystémiques qui sont analysés à partir de données d'inventaire (voir section 3.2), cette estimation nous permet de prendre en compte tous les arbres inclus sur le territoire étudié grâce à la détection de leur canopée et nous fournit donc une estimation plus globale de la contribution de la forêt urbaine en termes d'amélioration de la qualité de l'air. Toutefois, cette estimation ne prend pas en compte l'identification des arbres présents ou leurs caractéristiques biologiques et les valeurs obtenues sont donc des estimations moyennes.

3.4. Analyse de la diversité fonctionnelle

Les analyses portant sur la diversité fonctionnelle de la municipalité de Ripon ont été réalisées à partir des données d'inventaires.

La diversité fonctionnelle d'un territoire urbain peut être calculée à plusieurs échelles, soit par exemple à l'échelle d'une rue, d'un quartier ou bien de la municipalité dans son ensemble. Toutefois, plus l'échelle sera grande, plus le nombre d'arbres inclus dans l'analyse sera important et donc plus le niveau de diversité sera susceptible

⁸ USDA Forest Service (2019)

d'augmenter. Afin d'évaluer la diversité fonctionnelle à l'échelle la plus appropriée en termes de besoins de plantation d'arbres, nous avons réalisé l'analyse de diversité en découpant les rues en tronçons (d'une longueur moyenne d'environ 150 m), tel qu'illustré sur la carte 1 (section 4.4). Une analyse sur l'ensemble de la municipalité a aussi été réalisée pour comparaison.

Les analyses réalisées consistent à calculer un indice de diversité fonctionnelle pour chaque tronçon identifié et ce, en prenant en compte le nombre de groupes fonctionnels présents par tronçon ainsi que leur abondance relative. Cet indice permet ainsi de calculer ce que l'on appelle *un nombre effectif*, où chaque groupe fonctionnel obtient un poids différent dans le calcul selon son abondance dans le tronçon étudié⁹. Dans le cas idéal où tous les groupes fonctionnels seraient également représentés sur un tronçon ou sur le territoire en entier, l'indice de diversité fonctionnelle serait alors de 9, ce qui correspond au nombre de groupes fonctionnels. Le tableau 2 ci-dessous présente les différents niveaux de diversité selon les indices obtenus.

Tableau 2. Niveaux de diversité fonctionnelle selon les indices de diversité calculés.

Indice de diversité fonctionnelle	Niveau de diversité
1 à 2,5	Très faible
2,5 à 5	Faible
5 à 7,5	Intermédiaire
7,5 à 9	Élevée

3.5. Analyse de la vulnérabilité des arbres urbains publics

Afin de déterminer la susceptibilité des arbres urbains de Ripon aux stress actuels et futurs, nous avons fait une étude de leur vulnérabilité face aux changements globaux et à l'environnement urbain. En se basant sur une étude américaine ayant évalué la capacité d'adaptation de plus de 160 espèces pour la ville de Chicago¹⁰, nous avons attribué des cotes de capacité d'adaptation à environ 91 % des arbres urbains recensés dans la municipalité de Ripon. Les 9 % restants n'ont toutefois pu recevoir aucune évaluation du fait du manque de données. Pour les arbres de l'inventaire n'ayant pu être identifiés à l'espèce, nous avons extrapolé les données en se basant sur l'espèce la plus présente à Ripon.

La capacité d'adaptation des espèces se base sur les critères suivants :

- Nombre et sévérité de maladies et/ou d'insectes susceptibles d'attaquer l'espèce;
- Sensibilité au broutage;
- Sensibilité aux espèces envahissantes;
- Tolérance à la sécheresse;
- Tolérance aux inondations;

⁹ Josh (2006)

¹⁰ Brandt *et al.* (2017)

- Résistance aux tempêtes de verglas;
- Résistance aux tempêtes de vent;
- Impacts des variations de températures sur l'espèce;
- Tolérance à la pollution atmosphérique;
- Tolérance à la pollution du sol et de l'eau;
- Tolérance aux sels de déglacage;
- Tolérance à l'ombre;
- Tolérance aux différentes caractéristiques des sols (pH, texture, matière organique, perméabilité);
- Tolérance à une diversité de sites de plantation;
- Tolérance à la compaction du sol et à l'espace racinaire limité;
- Potentiel et facilité de production en pépinière;
- Facilité d'établissement suite à la plantation;
- Quantité d'entretien requis;
- Potentiel de devenir envahissant.

La capacité d'adaptation peut varier de 0 à 8,5 selon les espèces et nous avons converti les cotes obtenues en trois niveaux de vulnérabilité pour les arbres de Ripon (tableau 3). Pour plus d'informations par rapport à la méthodologie, le lecteur pourra consulter l'étude de Brandt *et al.* (2017).

Tableau 3. Niveaux de vulnérabilité des espèces arboricoles selon leur cote de capacité d'adaptation.

Cote de capacité d'adaptation	Niveau de vulnérabilité
0 à 3,5	Élevé
3,5 à 4,5	Moyen
4,5 à 8,5	Faible

4. Résultats

4.1. Inventaires des arbres urbains publics

L'inventaire des arbres urbains publics de la municipalité de Ripon a permis de recenser un total de 1111 arbres, incluant certains arbres localisés sur des terrains privés. La liste complète des espèces inventoriées est présentée à l'annexe 2. La richesse spécifique de la municipalité de Ripon (c'est-à-dire le nombre d'espèces et hybrides présents) est de 49 sur le territoire urbain étudié. Les genres les plus représentés sont les érables (21 %), les pins (15 %) et les cerisiers (13 %). La figure 3 ci-dessous illustre les proportions des 10 genres les plus présents parmi les arbres inventoriés au sein de la municipalité de Ripon.

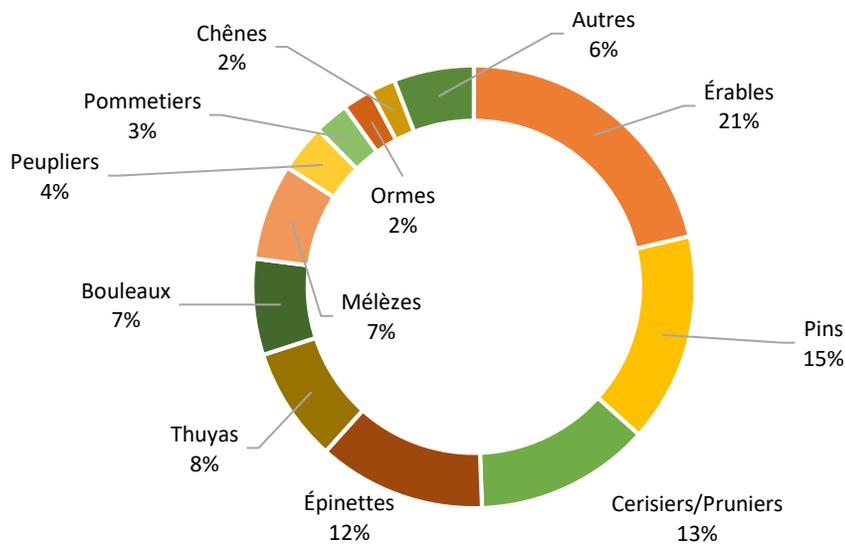


Figure 3. Proportion des 10 genres les plus dominants parmi les arbres inventoriés à Ripon.

En ce qui concerne l'état de santé général de la forêt urbaine de Ripon, sur un total de 977 arbres urbains évalués, 62 % des arbres démontrent des signes de dépérissement (figure 4), soit par manque de vigueur ou par la présence de blessures mécaniques, de signes d'attaques d'insectes ou de pathogènes.

Le dépérissement de la cime des arbres indique généralement un manque de vigueur associé à une capacité réduite à se défendre ou à résister aux stress abiotiques et biotiques¹¹. Afin d'assurer une canopée résiliente, la considération de l'état de santé de la forêt urbaine est importante pour permettre un apport continu en services écosystémiques. Par exemple, si la majorité des arbres sont mourants, leur capacité à contribuer aux processus écologiques sera réduite.

¹¹ Flückiger & Braun (1999); Adams *et al.* (2009); Weed *et al.* (2013).

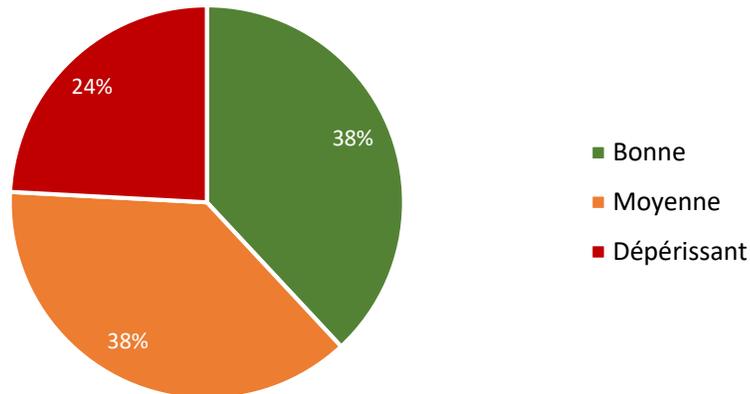


Figure 4. Répartition des arbres inventoriés à Ripon selon leur état de santé général.

4.2. Estimation des services écosystémiques des arbres urbains publics

À partir des données d’inventaire et de l’outil iTree Eco, nous avons estimé la contribution des arbres urbains publics de Ripon en termes de services écosystémiques (tableau 4). Les services présentés sont le stockage total de carbone, la séquestration annuelle de carbone, l’évitement des eaux de ruissellement, l’amélioration de la qualité de l’air et l’évapotranspiration.

Ces résultats démontrent une importante contribution des arbres urbains à l’amélioration de la qualité de vie en ville. Par exemple, en termes de lutte aux changements climatiques, les arbres urbains publics de Ripon stockent plus de 5 400 kg de carbone par année, ce qui représente une valeur monétaire annuelle nette d’environ 850 \$¹². Par ailleurs, ils contribuent aussi à l’évitement des eaux de ruissellement dans la municipalité et réduisent ainsi la pression sur le système d’égouts et les coûts en traitement des eaux. Enfin, les arbres urbains de Ripon jouent un rôle important dans l’amélioration de la qualité de l’air ainsi que dans la réduction des îlots de chaleur. En effet, ils assainissent l’air que respirent les citoyen-ne-s par la filtration de polluants tels que du dioxyde de carbone ou des particules fines et réduisent les températures par temps chauds en fournissant des zones d’ombre et en libérant de la vapeur d’eau dans l’atmosphère. Ces services représentent une part importante du bien-être en milieu urbain et ils devraient donc, dans l’intérêt de tous, être maintenus et renforcés.

¹² Environnement et changements climatiques Canada, 2016

Tableau 4. Valeurs unitaires et monétaires des services écosystémiques fournis par les arbres de l’inventaire de Ripon.

Services écosystémiques	Valeur unitaire	Valeur monétaire (CAD\$)
Stockage total de carbone ^{a,b}	270 286,3 kg (5 405,7 kg/an)	42 584,4 \$ (851,7\$/an)
Séquestration annuelle de carbone ^a	5 035,4 kg/an	793,3 \$
Évitement des eaux de ruissellement	470,1 m ³ /an	74,1 \$
Amélioration de la qualité de l’air	100,9 kg/an	15,5 \$
Évapotranspiration	6 862,6 m ³ /an	-
Contribution annuelle	-	1 734,6 \$

^a Alors que la **séquestration de carbone** fait référence au processus de capture du carbone dans l’atmosphère (sous forme de CO₂) par les arbres et est souvent exprimée annuellement en se référant à l’année précédente, le **stockage de carbone** exprime par ailleurs la quantité totale de carbone qui est stockée et accumulée par les arbres urbains et est donc intimement liée à l’âge des arbres en ville.

^b Cette valeur n’est pas annuelle. Toutefois, afin de faciliter la comparaison, la valeur totale du stockage du carbone a aussi été convertie en valeur annuelle et cette valeur est fournie entre parenthèses.

4.3. Estimation du couvert arboré et des services associés

Le couvert arboré de la municipalité de Ripon a été estimé à 13 %, avec une marge d’erreur de 2,71 %. Cette estimation inclut tous les arbres urbains, publics et privés, situés au sein du territoire étudié. À titre indicatif, les grandes villes canadiennes comme Montréal, Toronto et Vancouver ont un couvert arboré se situant entre 19 % et 26 %¹³, mais il n’existe pour le moment pas de données accessibles pour les petites municipalités canadiennes afin de comparer nos résultats.

À partir de ces données relatives à la canopée urbaine de Ripon, nous avons estimé les services écosystémiques associés à ce couvert arboré (tableau 5). Ces services se rapportent à l’amélioration de la qualité de l’air dans la municipalité. À noter que les services qui sont présentés ici se basent sur l’ensemble du couvert arboré de la municipalité, mais sans distinction entre les différentes espèces présentes. Ainsi, il est normal que les estimations diffèrent de ce qui est présenté à la section précédente (section 4.2) puisque ces dernières ont été estimées à partir des caractéristiques biologiques de chacun des arbres inventoriés à Ripon.

¹³ Li et al. (2015)

Au total, la contribution naturelle de la forêt urbaine de Ripon dans la réduction de la pollution atmosphérique est estimée à environ 8 000 \$ par année. Le détail des services est fourni dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5. Estimation des services écosystémiques associés à la canopée urbaine de Ripon, calculée à partir d'une photo aérienne et de iTree Canopy.

Services écosystémiques	Valeur unitaire	Valeur monétaire (CAD\$)
Monoxyde de carbone absorbé	6,5 kg/an	12,6 \$
Dioxyde d'azote absorbé	36,1 kg/an	22,8 \$
Ozone absorbé	278,90 kg/an	1 048,2 \$
Particules fines <2,5 microns absorbées	14,3 kg/an	2 194,4 \$
Particules fines entre 2,5 et 10 microns absorbées	79,2 kg/an	717,9 \$
Dioxyde de soufre absorbé	17,8 kg/an	3,4 \$
Dioxyde de carbone séquestré ^a	63,8 t/an	2 615,8 \$
Dioxyde de carbone stocké ^{a,b}	1 603,4 t (32,1 tonnes/an)	65 739,4 \$ (1 314,8\$/an)
Contribution annuelle	-	7 929,9 \$

^a Alors que la **séquestration de carbone** fait référence au processus de capture du carbone dans l'atmosphère (sous forme de CO₂) par les arbres et est souvent exprimée annuellement en se référant à l'année précédente, le **stockage de carbone** exprime par ailleurs la quantité totale de carbone qui est stockée et accumulée par les arbres urbains et est donc intimement liée à l'âge des arbres en ville.

^b Cette valeur n'est pas annuelle. Toutefois, afin de faciliter la comparaison, la valeur totale du stockage du carbone a aussi été convertie en valeur annuelle et cette valeur est fournie entre parenthèses¹⁴.

4.4. Analyse de la diversité fonctionnelle

Suivant l'analyse des données d'inventaire de la forêt urbaine de Ripon et la classification des espèces en groupes fonctionnels (voir figure 1 pour le rappel des groupes fonctionnels), les groupes les plus représentés au sein de la municipalité de Ripon sont les groupes fonctionnels 1A et 2A, tandis que les groupes les moins bien représentés

¹⁴ Dupras *et al.* (2016)

sont les groupes 4B et 4A (figure 5). De manière générale, la figure 5 illustre bien que les espèces inventoriées à Ripon ne sont pas également réparties au sein des différents groupes fonctionnels.

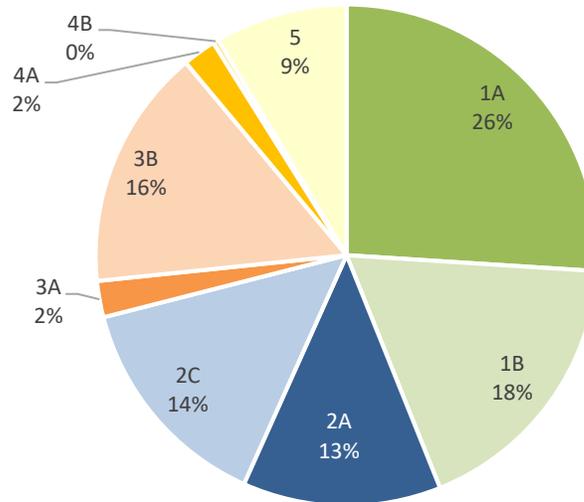
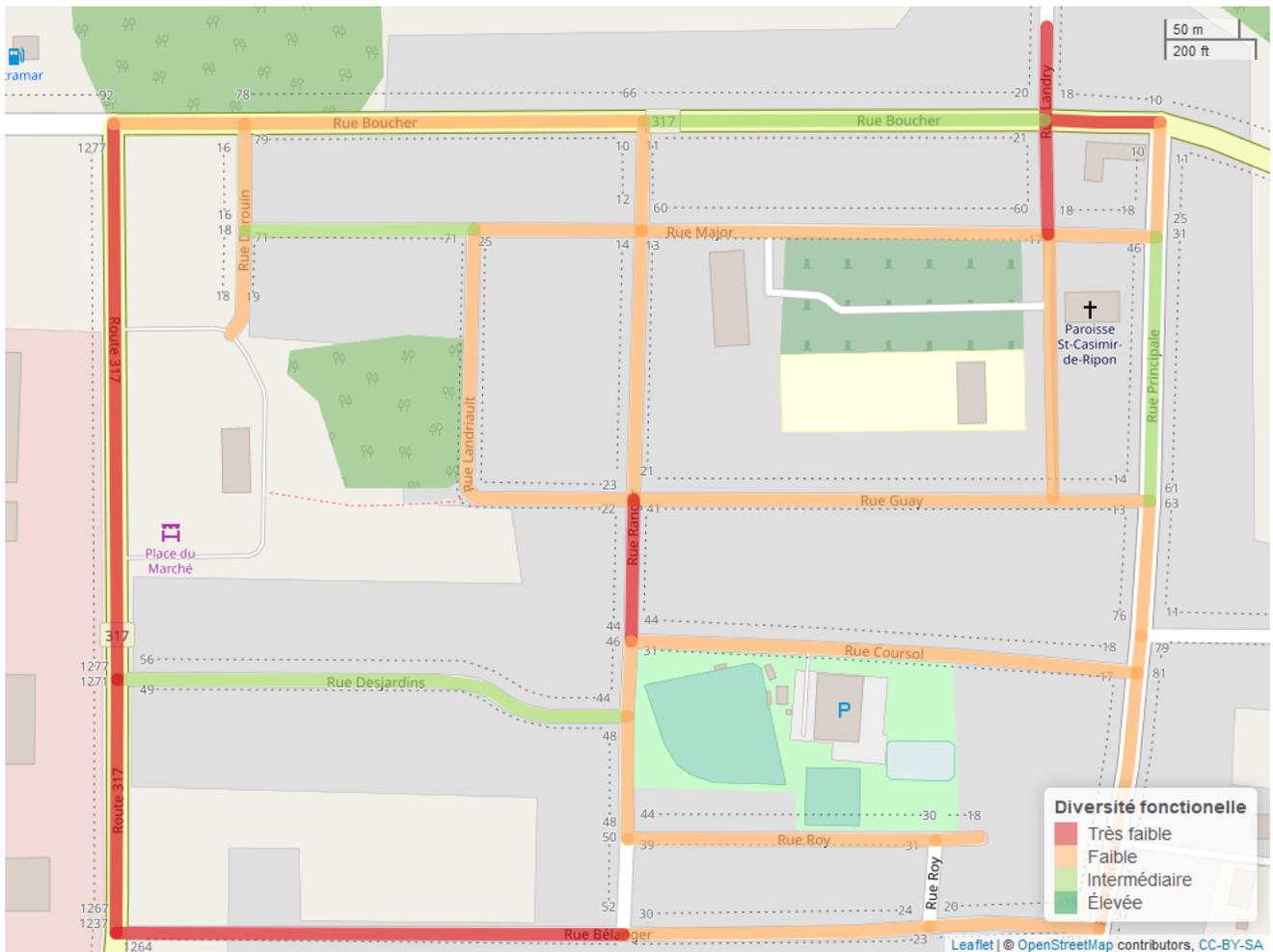


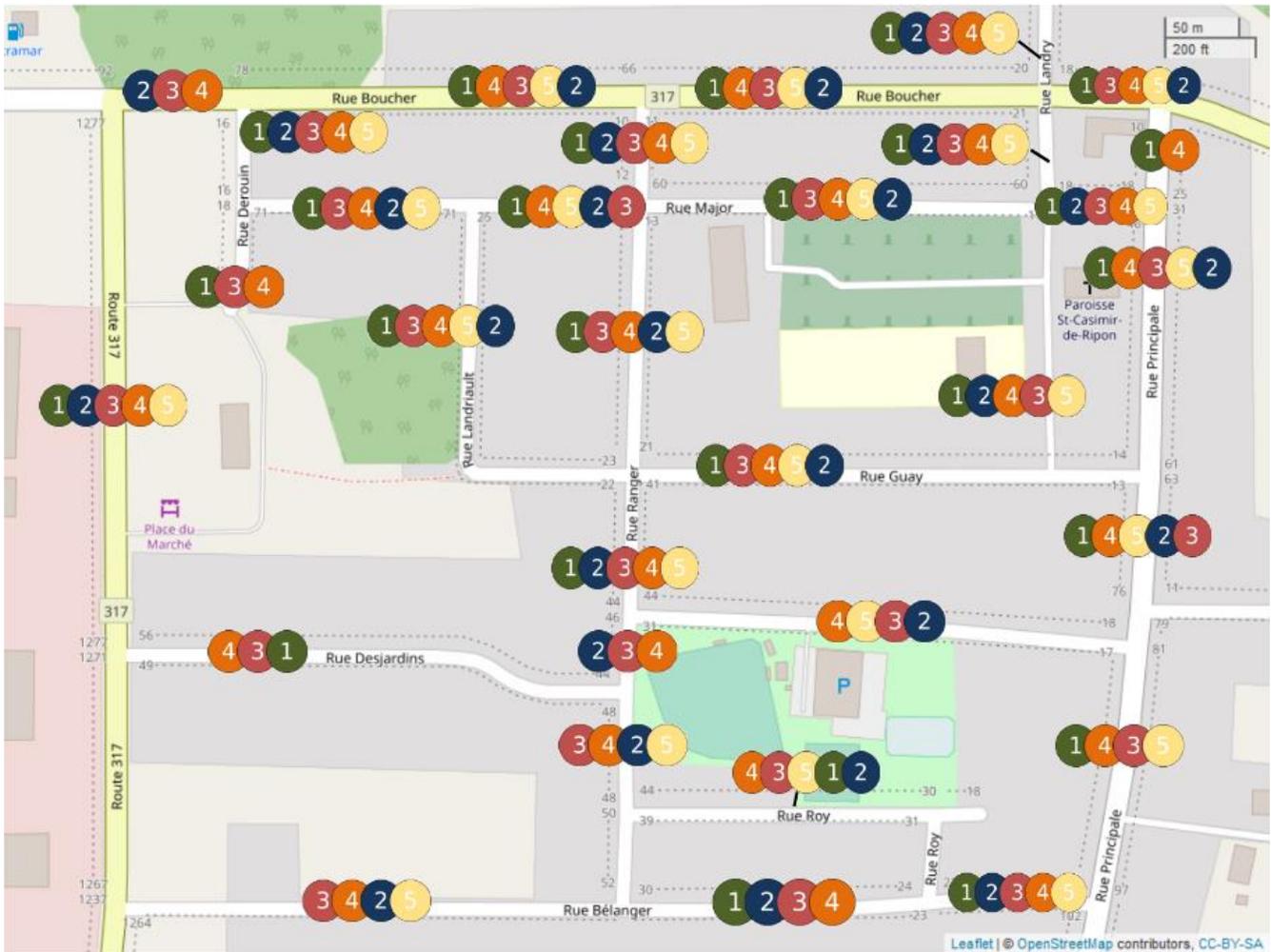
Figure 5. Répartition (en %) des espèces inventoriées à Ripon selon la classification en groupes fonctionnels.

À l'échelle de la municipalité, l'indice de diversité fonctionnelle est de 6,62/9. Bien que cet indice semble relativement élevé du fait du plus grand nombre d'arbres considérés, les analyses plus fines réalisées à l'échelle de chacun des tronçons de rue indiquent des variations importantes selon les secteurs. De nombreux tronçons sont notamment caractérisés par une diversité fonctionnelle faible ou très faible (carte 1), les rendant très vulnérables aux perturbations. Aucun tronçon n'a une diversité fonctionnelle élevée. Les tronçons à prioriser pour les interventions de plantation devraient être ceux ayant les indices de diversité fonctionnelle les plus faibles. Un tableau résumant les indices de diversité fonctionnelle obtenus pour chacun des tronçons de rue est présenté à l'annexe 3.



Carte 1. Représentation de la diversité fonctionnelle des différents tronçons de rue de la municipalité de Ripon.

Ainsi, ces résultats devraient être pris en compte lors des efforts de plantation et au moment de la sélection des espèces à planter, afin de s’assurer d’améliorer la diversité des espèces présentes sur le territoire urbain et donc la résilience de la forêt urbaine de Ripon. Pour faciliter ces démarches, la carte 2 ci-dessous illustre, pour chacun des tronçons de rue étudiés, les groupes fonctionnels à prioriser dans le choix des espèces à planter, dans l’optique d’améliorer la diversité fonctionnelle des différents tronçons. Par exemple, si on s’intéresse au tronçon de la rue Bélanger, entre les rues Roy et Ranger, on peut voir que les groupes 1,2,3 et 4 sont à prioriser lors de la plantation, le groupe 5 étant déjà bien représenté dans ce secteur. Des recommandations détaillées sur les groupes et sous-groupes fonctionnels à planter pour chacun des tronçons de rue est fourni à l’annexe 3.



Carte 2. Carte illustrant les groupes fonctionnels à prioriser pour chacun des tronçons de rue de la municipalité de Ripon, dans l’optique d’en améliorer la diversité fonctionnelle et donc la résilience. Les groupes sont présentés en ordre de priorité, le groupe le plus prioritaire étant celui de gauche.

L’analyse de la diversité fonctionnelle à l’échelle du tronçon permet ainsi de corriger certaines tendances de verdissement typiques, comme les plantations monospécifiques bordant différentes rues. En effet, la présence d’une seule espèce ou d’un seul groupe fonctionnel à l’échelle d’une rue représente un risque élevé de vulnérabilité puisque tous les arbres sont susceptibles d’être affectés par le même type de stress. Une bonne diversité d’espèces et de groupes fonctionnels contribue à diminuer ce risque et ainsi mieux protéger les services que fournit la forêt urbaine.

4.5. Analyse de la vulnérabilité des arbres urbains publics

L'analyse de vulnérabilité menée pour les arbres de l'inventaire pour lesquels des données étaient disponibles (soit 91 % des espèces inventoriées) montre que plus de 95 % des arbres recensés ont une vulnérabilité moyenne ou élevée face aux changements globaux et à l'environnement urbain (figure 6). Ainsi, la forêt urbaine de Ripon est fortement à risque face aux potentiels stress et menaces anticipés.

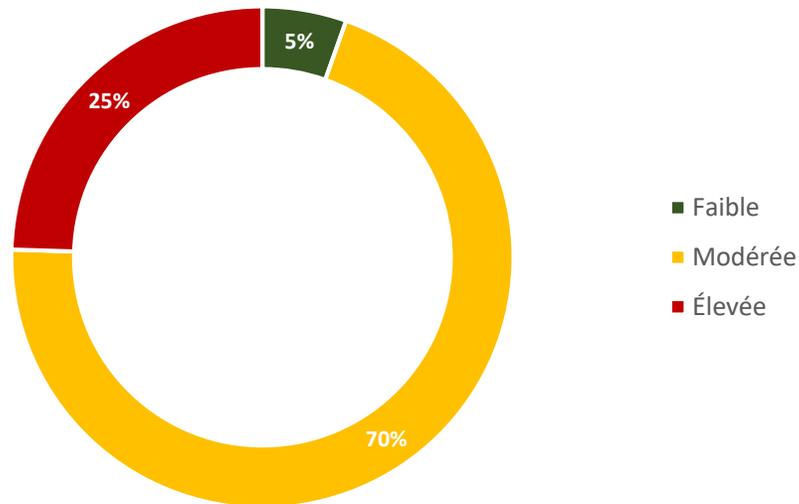


Figure 6. Répartition (en %) des arbres urbains de Ripon selon leur niveau de vulnérabilité face aux potentiels stress et menaces anticipés.

4.5.1. Menaces biotiques : les insectes et les maladies exotiques

Le tableau 6 ci-dessous présente les principales menaces biotiques en termes d'insectes et maladies exotiques susceptibles d'affecter les arbres de Ripon dans les 50 prochaines années. Quelques-unes de ces menaces sont d'ailleurs déjà présentes au Québec et causent des dommages très importants.

Tableau 6. Liste des menaces biotiques potentiellement les plus dommageables pour la forêt urbaine de Ripon.

Insecte ou maladie exotique	Hôte(s) potentiel(s)	Recensé au Québec
Chancre du châtaignier	Plusieurs espèces de châtaignier	
Rouille vésiculeuse du pin blanc	Pin blanc	X
Maladie de la mort brutale du chêne	Tous les chênes	X
Carie des racines ou mort de la cime causée par le <i>Phytophthora cinnamomi</i>	Châtaignier d'Amérique, chêne blanc, arbres fruitiers et de nombreux autres	X
Maladie corticale du hêtre	Tous les hêtres	X

Spongieuse européenne ou asiatique	Chênes, saules, bouleaux, peupliers et plusieurs autres espèces	X
Puceron lanigère de la pruche	Pruche	
Maladie du flétrissement du laurier	Plusieurs espèces et particulièrement celles dans la famille des lauriers	
Agrile du frêne	Tous les frênes	X
Maladie hollandaise de l'orme	Tous les ormes	X
Chancre du noyer	Tous les noyers	X
Puceron lanigère du sapin	Sapin baumier	X
Longicorne asiatique	Tous les érables et autres feuillus tels que les marronniers, bouleaux, saules, ormes, et plus.	
Arpenteuse tardive	Surtout les chênes, les érables, et les cerisiers	

Au sein de la forêt urbaine de Ripon, certaines espèces d'arbres pourraient toutefois être particulièrement à risque. En effet, tel qu'illustré dans la figure 7 ci-dessous, plus de 50 % des arbres urbains de Ripon sont menacés par au moins trois menaces biotiques parmi celles considérées particulièrement dommageables (voir tableau 6). Étant donné que la majorité des menaces biotiques retenues ont des impacts mortels sur leur(s) hôte(s), ces données sont inquiétantes pour les arbres urbains de Ripon. Ils viennent fortement appuyer l'urgence d'agir et de diversifier la forêt urbaine de la municipalité afin d'augmenter sa résilience face à ces menaces.

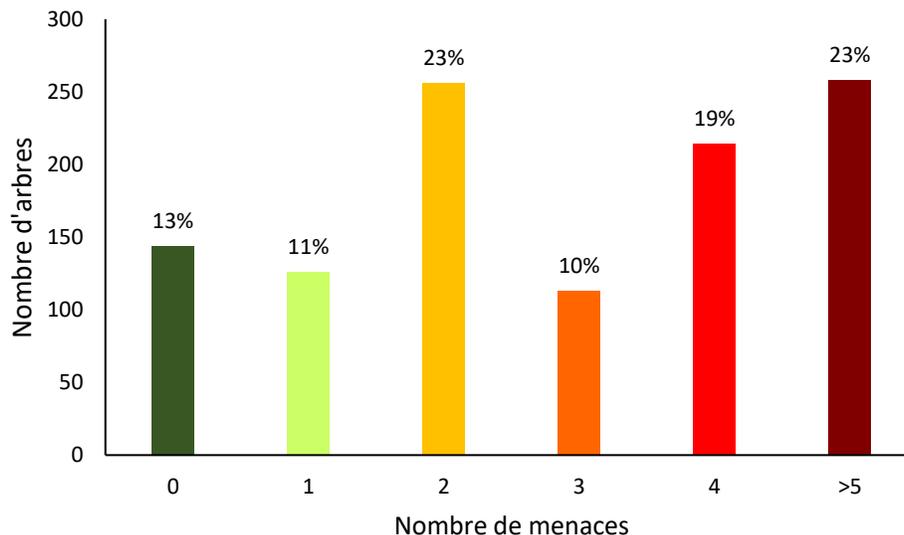


Figure 7. Répartition (en %) des arbres urbains de Ripon selon le nombre de menaces biotiques auxquelles ils sont potentiellement exposés.

4.5.2. Menaces abiotiques : les événements de sécheresse

Pour le Québec, une des conséquences des changements climatiques les plus inquiétantes pour les arbres urbains est l'augmentation de la sévérité et de la fréquence des événements de sécheresse dans les années à venir. Afin de mieux visualiser la susceptibilité des arbres urbains de Ripon face à cette menace, la figure 8 illustre la répartition en pourcentage des arbres inventoriés selon leur degré de tolérance à la sécheresse (un des traits fonctionnels utilisés dans nos analyses). Près de la moitié des arbres de la forêt urbaine de Ripon ont une tolérance à la sécheresse faible ou très faible. Ainsi, en cas de sécheresse prolongée dans la région, une grande proportion d'arbres serait particulièrement à risque, augmentant d'autant leur susceptibilité aux autres menaces biotiques.

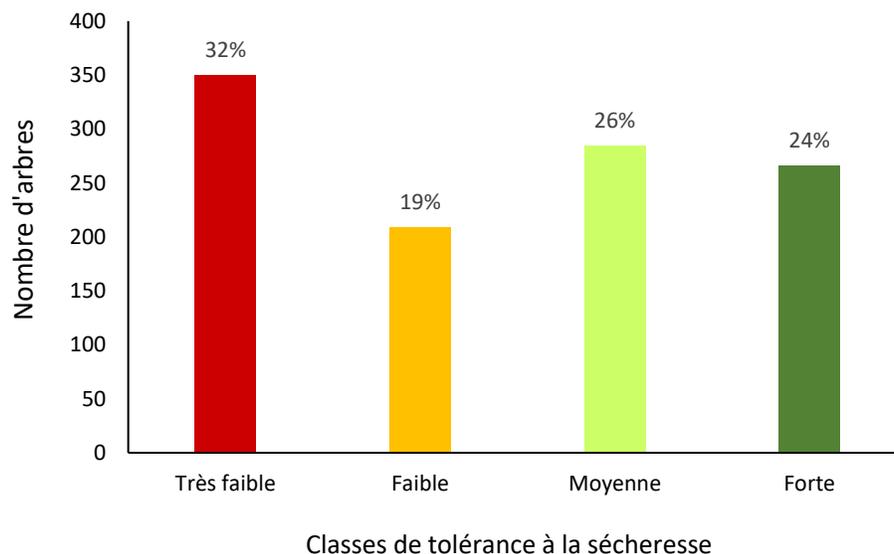


Figure 8. Répartition (en %) des arbres inventoriés à Ripon selon leur degré de tolérance à la sécheresse.

4.5.3. Impacts potentiels associés à la disparition de deux espèces d'arbres dominantes

Afin d'illustrer l'importance de diversifier la forêt urbaine dans le contexte des changements globaux, nous avons simulé les impacts potentiels associés à la perte de deux espèces d'arbres dominantes à Ripon sur l'approvisionnement en services écosystémiques dont bénéficient actuellement la municipalité. Toutes les combinaisons possibles de deux espèces ont été testées en se basant sur la liste des 10 espèces les plus abondantes au sein de la municipalité (c.-à-d. 45 combinaisons au total). La figure 9 ci-dessous résume les résultats de cette simulation en représentant la probabilité de perte en services écosystémiques suite à la disparition de deux espèces prises au hasard. Bien que les probabilités les plus fréquentes de perte en services soient de niveau « intermédiaire » (2 à 12 % de perte), cette valeur peut aussi être « très élevée » dans certains cas (soit jusqu'à 41 % de perte), par exemple lorsqu'une espèce d'arbre abondante telle que l'érable est touchée. Une telle

situation n'est pas irréaliste puisque le longicorne asiatique, bien qu'actuellement maîtrisé, est présent actuellement dans le nord des États-Unis et en Ontario où il s'attaque particulièrement aux érables.

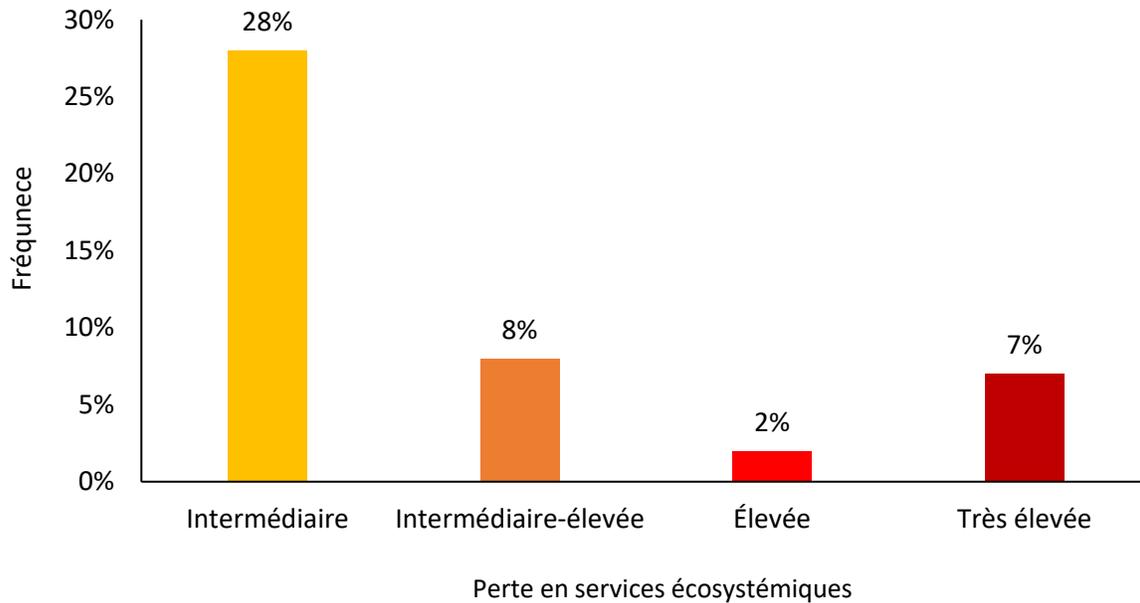


Figure 9. Fréquence de la perte en services écosystémiques (exprimé en % des services actuellement rendus) suite à la disparition hypothétique de deux des 10 espèces les plus abondantes de la forêt urbaine de Ripon. Les catégories de perte en services écosystémiques sont les suivantes : Intermédiaire = 2 à 11,99 %; Intermédiaire-élevée = 12 à 21,99 %; Élevée = 22 à 30,99 %; Très-élevée = 31 à 41 %.

5. Recommandations pour améliorer la résilience de la forêt urbaine

Suite à ce portait approfondi de la diversité fonctionnelle et des services écosystémiques de la forêt urbaine de Ripon, nous avons plusieurs recommandations à proposer afin que les prochains efforts de verdissement et de plantation d'arbres favorisent une augmentation de la résilience de la forêt urbaine face aux menaces actuelles et futures et donc favorisent sa pérennité.

- Les tronçons de rue à prioriser pour les interventions de plantation devraient être ceux ayant les indices de diversité fonctionnelle les plus faibles (voir carte 1 à la section 4.4 et annexe 3). De plus, considérant que des arbres devraient être plantés tous les 7 m sur les deux côtés de la rue pour une densité optimale, les tronçons de rue peuvent aussi être priorisés selon le nombre d'arbres déjà présents (annexe 3).
- Afin de réduire la vulnérabilité de la forêt urbaine, il est recommandé de favoriser, parmi les nouvelles espèces à planter, des espèces issues des groupes fonctionnels les moins représentés sur chacun des tronçons de rue étudiés (voir carte 2 à la section 4.4 et annexe 1). Cette approche permettra ainsi d'augmenter la diversité fonctionnelle dans les différents secteurs de la municipalité et donc de réduire les risques de perte de nombreux arbres urbains du fait d'une seule menace. Par exemple, la diversification permettrait de limiter les dommages occasionnés par l'arrivée d'un insecte tel que le longicorne asiatique, qui pour le moment pourrait affecter tous les érables de Ripon (soit 21 % de la forêt urbaine) et la majorité des autres feuillus.
- Au sein de chacun des groupes fonctionnels, les espèces à planter peuvent être sélectionnées selon les besoins et les contraintes des différents tronçons, mais aussi en respectant l'acceptabilité sociale. Il est toutefois recommandé de vérifier la disponibilité des espèces souhaitées en pépinière.
- Étant donné les fortes probabilités de sécheresse dans les années à venir, il est recommandé de favoriser, à l'intérieur des différents groupes fonctionnels, les espèces les plus tolérantes à la sécheresse afin de minimiser le risque de perte associée à cette menace.
- Le plan d'aménagement et de verdissement devrait être établi sur plusieurs années afin de répartir la plantation des nouveaux arbres et ainsi répartir aussi bien l'apport en services écosystémiques que le remplacement des individus arrivant en fin de vie. Une telle diversification des classes d'âges des arbres de Ripon permettra de mieux répartir les besoins de plantation dans le temps.
- Certains des gros arbres dépérissant de la municipalité pourraient être progressivement remplacés au cours des 10 prochaines années. Il serait par exemple recommandé de prioriser les espèces appartenant à des groupes fonctionnels surreprésentés, par exemple les érables. D'après nos analyses, 236 arbres pourraient être remplacés, soit une moyenne de 23 arbres par année sur une période de 10 ans.

6. Conclusion

Considérant le contexte actuel, soit l'augmentation des menaces par les insectes et les maladies exotiques, ainsi que les changements climatiques présentement ressentis et prédits, l'adaptation et la résilience des forêts urbaines n'a jamais été aussi primordiale. Pour éviter des pertes soudaines et catastrophiques comme dans les cas de l'orme d'Amérique et maintenant des frênes, l'augmentation de la diversité des espèces à planter, notamment par le biais de l'approche des traits fonctionnels, est à privilégier. Une forêt urbaine résiliente permettra ainsi un approvisionnement continu en services essentiels, tels que l'amélioration de la qualité de l'air, la réduction des effets liés aux îlots de chaleur, l'atténuation des risques d'inondation ou encore l'augmentation de la valeur des propriétés.

Il est donc dans l'intérêt de la municipalité de Ripon de prendre des actions concrètes et globales afin d'assurer la protection et la durabilité de sa forêt urbaine. De telles actions pourraient par exemple inclure la réduction de la dominance de l'érable sur le territoire urbain de Ripon et la priorisation d'espèces issues de groupes fonctionnels sous-représentés. Plus qu'une évaluation de la forêt urbaine de Ripon, cette étude se veut un outil d'aide à la prise de décision afin de guider les planificateurs et les gestionnaires dans leur démarche d'aménagement et de diversification du territoire visant à mieux lutter contre les changements globaux.

7. Références

- Abrams, M.D. (1985). Age-diameter relationships of *Quercus* species in relation to edaphic factors in gallery forests in northeast Kansas. *Forest Ecology and Management* 13: 181-193.
- Adams, H. D., A. D. Collins, S. P. Briggs, M. Vennetier, L. T. Dickman, S. A. Sevanto, N. Garcia-Forner et N. G. McDowell. (2015). Experimental drought and heat can delay phenological development and reduce foliar and shoot growth in semiarid trees. *Global Change Biology* 21(11): 4210-4220. doi: 10.1111/gcb.13030
- Barrow E, Maxwell, B. et Gachon, P. (Eds). (2004). *Climate Variability and Change in Canada: Past, Present and Future*, ACSD Science Assessment Series No. 2, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, Toronto, Ontario, 114p.
- Beatley, T. (2011). *Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning*. Washington, DC: Island Press.
- Brandt, L. A., Derby L.A., Scott, L.,; Darling, L., Fahey, R.T., Iverson, L., Nowak, D.J., Bodine, A.R., Bell, A., Still, S., Butler, P.R., Dierich, A., Handler, S.D., Janowiak, M., K., Matthews, S.N., Miesbauer, J.W., Peters, M., Prasad, A., Shannon, P.D., Stotz, D. et Swanston, C. W. (2017). Chicago Wilderness region urban forest vulnerability assessment and synthesis: a report from the Urban Forestry Climate Change Response Framework Chicago Wilderness pilot project. Gen. Tech. Rep. NRS-168. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 142 p. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-168>
- Brune, M. (2016). Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. Report 24. Climate Service Center Germany, Hamburg.
- Charrier, G., Ngao, J., Saudreau, M. et Améglio, T. (2015). Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. *Frontiers in Plant Science* 6 (259): 1-18. doi:10.3389/fpls.2015.00259
- Dupras, J., L'Ecuyer-Sauvageau, C., Auclair, J., He, J. et Poder, T. (2016). *Natural Capital the Economic Value of the National Capital Commission's Green Network*. National Capital Commission / David Suzuki Foundation.
- Early, R., Bradley, B. A., Dukes, J. S., Lawler, J. J., Olden, J. D., Blumenthal, D. M., Gonzalez, P., Grosholz, E.D., Ibanez, I, Miller, L.P., Sorte, C.J.B. et Tatem, A. J. (2016). Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications* 7 (12485): 1-9. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- Ely, M. (2009). *Planning for trees in urban environments*. University of Adelaide, Australia. <https://treenet.org/resources/planning-for-trees-in-urban-environments/> (Consulté le 21.02.2019)
- 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 Changement climatique Canada*.
- Frédette, C., Labrecque, M., Comeau, Y. et Brisson, J. (2018). Evapotranspiration rate of willow (*Salix* sp.): A review.

- Flückiger, W et Braun, Sabine. (1999). Stress factors of urban trees and their relevance for vigor and predisposition for parasite attacks. *International Symposium on Urban Tree Health* 496: 325-334. 10.17660/ActaHortic.1999.496.40.
- Groninger, J., Close D.D. et Basman, C.M. (2002). Can Small, Rural Communities Practice Urban Forestry? *Journal of Forestry* 100: 23-28.
- Hill, M.O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54: 427–473.
- Hirabayashi, S. (2014). i -Tree Canopy Air Pollutant Removal and Monetary Value Model Descriptions 2010, 1–11.
- Jost L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113: 363-375.
- Knight, K.S., Long, R.P., Rebbeck, J., Smith, A., Gandhi, K. et Herms, D. A. (2008). How fast will trees die? A transition matrix model of ash decline in forest stands infested by emerald ash borer. In: Mastro, Victor; Lance, David; Reardon, Richard; Parra, Gregory, comps. Emerald ash borer research and development meeting; 2007 October 23-24; Pittsburgh, PA. FHTET 2008-07. Morgantown, WV: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team: 28-29.
- Lajoie, G., Houle, D. et Blondlot, A. (2016). Impacts de la sécheresse sur le secteur forestier québécois dans un climat variable et en évolution. Montréal, Québec : Ouranos, 13 p.
- Li, X., Zhang, C., Li, W., Ricard, R., Meng, Q. et Zhang, W. (2015). Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(3): 675-685.
- Lovett, G. M., Weiss, M., Liebhold, A. M., Holmes, T. P., Leung, B., Lambert, K. F., Orwig, D.A., Campbell, F.T., Rosenthal, J., McCullough, D.G., Wildova, R., Ayres, M.P., Canham, C.D., Foster, D.R., LaDeau, S.L. et Weldy, T. (2016). Nonnative forest insects and pathogens in the United States: Impacts and policy options. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 26(5): 1437–1455. <https://doi.org/10.1890/15-1176>
- Łukaszewicz, J., Kosmala, M. et Chrapka, M. (2005). Determining the age of streetside *Tilia cordata* trees with a DBH-based model. *Journal of Arboriculture*. 31(6):280-284.
- Maure, F., Rayfield, B., Martins, K. T., Garbe, C., Auclair, J., Wood, S., Messier, C., Larocque, M. et Gonzalez, A. (2018). Le rôle des infrastructures naturelles dans la prévention des inondations dans la Communauté métropolitaine de Montréal. Fondation David Suzuki. 48pp.
- McCullough, D. G. et Mercader, R. J. (2012). Evaluation of potential strategies to SLow Ash Mortality (SLAM) caused by emerald ash borer (*Agrilus planipennis*): SLAM in an urban forest. *International Journal of Pest Management*, 58(1): 9–23. <https://doi.org/10.1080/09670874.2011.637138>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis, Ecosystems*. Island Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>
- Mullaney, J., Lucke, T., Trueman, S. et Hosseini Bai, S. (2016). The growth and health of street trees planted in permeable pavements. *Acta Horticulturae* 1108: 77-82. 10.17660/ActaHortic.2016.1108.10.

- Nowak, D. J. (2000). The interactions between urban forests and global climate change. In: Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. *Global Climate Change and the Urban Forest*. Baton Rouge, LA: GCRC and Franklin Press: 31-44.
- Ordóñez, C. et Duinker, P. N. (2015). Climate change vulnerability assessment of the urban forest in three Canadian cities. *Climatic Change* 131: 531–543 DOI 10.1007/s10584-015-1394-2.
- Paquette, A. (2016). Augmentation de la canopée et de la résilience de la forêt urbaine de la région métropolitaine de Montréal. Sous la direction de Cornelia Garbe, Jour de la Terre, et du Comité de reboisement de la CMM. Montréal, Octobre 2016.
- Paquette, A. et Messier, C. (2016a). Pour une plantation qui augmente la résilience des arbres municipaux de Gatineau. Rapport final pour la Chaire de recherche CRSNG/Hydro-Québec sur le contrôle de la croissance des arbres. 42pp.
- Paquette, A. et Messier, C. (2016b). Diversité des arbres de la Ville de Québec: Développement d'une stratégie de plantations qui augmente la résilience du parc arboré. Portrait de la forêt urbaine de Québec et recommandations. Rapport final pour la Chaire de recherche CRSNG/Hydro-Québec sur le contrôle de la croissance des arbres. Université du Québec à Montréal, 49pp.
- Perrette, G. (2017). Vers une gestion optimale de la partie aérienne de l'arbre en milieu urbain. Rapport présenté pour la ville de Joliette. Chaire de recherche CRSNG/Hydro-Québec sur le contrôle de la croissance des arbres. 95pp.
- Schipperijn, J., Bentsen, P., Troelsen, J., Toftager, M. et Stigsdotter, U. K. (2013). Associations between physical activity and characteristics of urban green space. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(1):109–116. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.12.002>
- USDA Forest Service, 2019. i-Tree Software 2019 Suite version 6.1.26 Online. URL <https://www.itreetools.org> (consulté le 21.02.19).
- Van Herzele, A. et Wiedemann, A.T. (2003). A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces. *Landscape and Urban Planning*, 63(2): 109–126. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00192-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00192-5)
- Weed, A. S., Ayres, M.P. et Hicke, J.A. (2013). Consequences of climate change for biotic disturbances in North American forests. *Ecological Monographs* 83: 441–470.

8. Annexes

Annexe 1 : Liste des espèces les plus abondantes dans le sud du Québec et de leur groupe fonctionnel

Espèce – Nom latin	Espèce – Nom français	Gr. Fonct.
<i>Abies alba</i>	Sapin blanc	1A
<i>Abies balsamea</i>	Sapin baumier	1A
<i>Abies concolor</i>	Sapin argenté	1A
<i>Abies koreana</i>	Sapin de corée	1A
<i>Abies sibirica</i>	Sapin de Sibérie	1A
<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>	Cyprès de nootka	1A
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	Métaséquoia de Chine	1A
<i>Picea abies</i>	Épinette de Norvège	1A
<i>Picea asperata</i>	Épinette de Chine	1A
<i>Picea engelmannii</i>	Épinette Engelmann	1A
<i>Picea glauca</i>	Épinette blanche	1A
<i>Picea mariana</i>	Épinette noire	1A
<i>Picea omorika</i>	Épinette de Serbie	1A
<i>Picea pungens</i>	Épinette du Colorado	1A
<i>Picea rubens</i>	Épinette rouge	1A
<i>Pinus strobus</i>	Pin blanc	1A
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Sapin douglas	1A
<i>Thuja occidentalis</i>	Thuya occidental	1A
<i>Thuja standishii</i>	Thuya du Japon	1A
<i>Tsuga canadensis</i>	Pruche de l'est	1A
<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo à feuilles bilobées	1B
<i>Juniperus communis</i>	Genévrier commun	1B
<i>Juniperus virginiana</i>	Genévrier de Virginie	1B
<i>Larix decidua</i>	Mélèze d'Europe	1B
<i>Larix kaempferi</i>	Mélèze du Japon	1B
<i>Larix laricina</i>	Mélèze laricin	1B
<i>Larix leptolepis</i>	Mélèze du Japon	1B
<i>Pinus aristata</i>	Pin aristé	1B
<i>Pinus banksiana</i>	Pin gris	1B
<i>Pinus cembra</i>	Pin cembro	1B
<i>Pinus contorta</i>	Pin tordu	1B
<i>Pinus densiflora</i>	Pin rouge du Japon	1B
<i>Pinus flexilis</i>	Pin flexible	1B

<i>Pinus koraiensis</i>	Pin blanc de Corée	1B
<i>Pinus mugo</i>	Pin mugo	1B
<i>Pinus nigra</i>	Pin noir d'Autriche	1B
<i>Pinus parviflora</i>	Pin blanc du Japon	1B
<i>Pinus peuce</i>	Pin de Macédoie	1B
<i>Pinus ponderosa</i>	Pin ponderosa	1B
<i>Pinus resinosa</i>	Pin rouge	1B
<i>Pinus rigida</i>	Pin rigide	1B
<i>Pinus sylvestris</i>	Pin sylvestre	1B
<i>Acer campestre</i>	Érable champêtre	2A
<i>Acer ginnala</i>	Érable de l'Amur	2A
<i>Acer grandidentatum</i>	Érable de montagne	2A
<i>Acer griseum</i>	Érable à écorce de bouleau	2A
<i>Acer miyabei</i>	Érable de Miyabe	2A
<i>Acer nigrum</i>	Érable noir	2A
<i>Acer palmatum</i>	Érable palmé	2A
<i>Acer pensylvanicum</i>	Érable de Pennsylvanie	2A
<i>Acer platanoides</i>	Érable de Norvège	2A
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Érable sycamore	2A
<i>Acer saccharum</i>	Érable à sucre	2A
<i>Acer tataricum</i>	Érable de Tatarie	2A
<i>Acer triflorum</i>	Érable à trois fleurs	2A
<i>Acer truncatum</i>	Érable de Shantung	2A
<i>Acer x freemanii</i>	Érable de Freeman	2A
<i>Carpinus betulus</i>	Charme commun	2A
<i>Carpinus caroliniana</i>	Charme de caroline	2A
<i>Chionanthus virginicus</i>	Arbre à neige	2A
<i>Cornus alternifolia</i>	Cornouiller à feuille alternes	2A
<i>Cornus stolonifera</i>	Cornouiller stolonifère	2A
<i>Corylus americana</i>	Noisetier d'Amérique	2A
<i>Corylus avellana</i>	Noisetier tortueux	2A
<i>Fagus grandifolia</i>	Hêtre à grandes feuilles	2A
<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre européen	2A
<i>Magnolia acuminata</i>	Magnolia acuminé	2A
<i>Magnolia fraseri</i>	Magnolier de Fraser	2A
<i>Magnolia kobus</i>	Magnolia de Kobé	2A
<i>Magnolia loebneri</i>	Magnolia de Loebner	2A
<i>Magnolia rustica</i>	Magnolia de Soulange	2A
<i>Magnolia stellata</i>	Magnolia étoilé	2A
<i>Nyssa sylvatica</i>	Nyssa sylvestre	2A

<i>Ostrya virginiana</i>	Ostryer de virginie	2A
<i>Tilia americana</i>	Tilleul d'Amérique	2A
<i>Tilia cordata</i>	Tilleul à petites feuilles	2A
<i>Tilia europaea</i>	Tilleul européen	2A
<i>Tilia flavescens</i>	Tilleul à feuilles moyennes	2A
<i>Tilia mongolica</i>	Tilleul de Mongolie	2A
<i>Tilia platyphyllos</i>	Tilleul à grandes feuilles	2A
<i>Tilia tomentosa</i>	Tilleul argenté	2A
<i>Tilia vulgaris</i>	Tilleul commun	2A
<i>Ulmus thomasii</i>	Orme liège	2A
<i>Acer negundo</i>	Érable à giguère	2B
<i>Acer rubrum</i>	Érable rouge	2B
<i>Acer saccharinum</i>	Érable argenté	2B
<i>Acer spicatum</i>	Érable à épis	2B
<i>Aesculus arguta</i>	Marronnier glabre	2B
<i>Aesculus flava</i>	Marronnier à fleurs jaunes	2B
<i>Aesculus glabra</i>	Marronnier glabre	2B
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Marronnier de Bauman	2B
<i>Aesculus indica</i>	Marronnier de l'Himalaya	2B
<i>Aesculus octandra</i>	Marronnier à fleurs jaunes	2B
<i>Aesculus parviflora</i>	Marronnier nain	2B
<i>Aesculus x bushii</i>	Marronnier hybride	2B
<i>Aesculus x carnea</i>	Marronnier à fleurs rouges	2B
<i>Alnus glutinosa</i>	Aulne glutineux	2B
<i>Betula alleghaniensis</i>	Bouleau jaune	2B
<i>Celtis occidentalis</i>	Micocoulier occidental	2B
<i>Fraxinus americana</i>	Frêne d'Amérique	2B
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Frêne à feuilles étroites	2B
<i>Fraxinus bungeana</i>	Frêne de Bunge	2B
<i>Fraxinus chinensis</i>	Frêne de Chine	2B
<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	2B
<i>Fraxinus griffithii</i>	Frêne de Griffith	2B
<i>Fraxinus insularis</i>	Frêne chinois à fleurs	2B
<i>Fraxinus longicuspis</i>	Orne à long sépales	2B
<i>Fraxinus mandshurica</i>	Frêne de Mandchourie	2B
<i>Fraxinus nigra</i>	Frêne noir	2B
<i>Fraxinus ornus</i>	Frêne à fleurs	2B
<i>Fraxinus pallisae</i>	Frêne de Pallis	2B
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Frêne de Pennsylvanie	2B
<i>Fraxinus profunda</i>	Frêne pubescent	2B

<i>Fraxinus sieboldiana</i>	Frêne de Siebold	2B
<i>Fraxinus sogdiana</i>	Fraxinus sogdiana	2B
<i>Fraxinus stylosa</i>	Fraxinus stylosa	2B
<i>Fraxinus x 'Northern Gem'</i>	Frêne hybride	2B
<i>Platanus acerifolia</i>	Platane à feuilles d'érable	2B
<i>Platanus occidentalis</i>	Platane occidental	2B
<i>Prunus padus</i>	Cerisier à grappes	2B
<i>Rhamnus frangula</i>	Bourdaine	2B
<i>Ulmus americana</i>	Orme d'Amérique	2B
<i>Ulmus carpinifolia</i>	Orme champêtre	2B
<i>Ulmus davidiana</i>	Orme japonais	2B
<i>Ulmus glabra</i>	Orme de montagne	2B
<i>Ulmus propinqua</i>	Orme propinqua	2B
<i>Ulmus rubra</i>	Orme rouge	2B
<i>Ulmus wilsoniana</i>	Orme Wilson	2B
<i>Ulmus x</i>	Ormes hybrides	2B
<i>Amelanchier alnifolia</i>	Amélanchier à feuilles d'aulne	3A
<i>Amelanchier arborea</i>	Amélanchier arborescent	3A
<i>Amelanchier canadensis</i>	Amélanchier du Canada	3A
<i>Amelanchier grandiflora</i>	Amélanchier à grandes fleurs	3A
<i>Amelanchier laevis</i>	Amélanchier glabre	3A
<i>Crataegus canadensis</i>	Aubépine du Canada	3A
<i>Crataegus crus-galli</i>	Aubépine ergot de coq	3A
<i>Crataegus laevigata</i>	Épines à fleurs	3A
<i>Crataegus phaenopyrum</i>	Aubépine de Washington	3A
<i>Crataegus rotundifolia</i>	Aubépine de Dodge	3A
<i>Crataegus viridis</i>	Aubépine verte	3A
<i>Crataegus x mordenensis</i>	Aubépine mordensis	3A
<i>Ligustrum vulgare</i>	Troène commun	3A
<i>Pyrus calleryana</i>	Poirier décoratif	3A
<i>Pyrus communis</i>	Poirier commu	3A
<i>Pyrus fauriei</i>	Poirier fauriei	3A
<i>Pyrus michauxii</i>	Poirier de Michaux	3A
<i>Pyrus pyrifolia</i>	Nashi	3A
<i>Pyrus ussuriensis</i>	Poirier de Ussuri	3A
<i>Quercus coccinea</i>	Chêne écarlate	3A
<i>Rhamnus cathartica</i>	Nerprun cathartique	3A
<i>Sorbus alnifolia</i>	Sorbier de Corée	3A
<i>Sorbus americana</i>	Sorbier d'Amérique	3A
<i>Sorbus aria</i>	Alisier blanc	3A

<i>Sorbus aucuparia</i>	Sorbier des oiseaux	3A
<i>Sorbus decora</i>	Sorbier des montagnes	3A
<i>Sorbus folgneri</i>	Sorbier folgneri	3A
<i>Sorbus intermedia</i>	Alisier de Suède	3A
<i>Sorbus latifolia</i>	Sorbier à larges feuilles	3A
<i>Sorbus thuringiaca</i>	Sorbier à feuilles de chêne	3A
<i>Sorbus xanthocarpa</i>	Sorbier des oiseaux à fruits jaunes	3A
<i>Syringa josikaea</i>	Lilas de Hongrie	3A
<i>Syringa pekinensis</i>	Lilas de pékin	3A
<i>Syringa prestoniae</i>	Lilas de Preston	3A
<i>Syringa reticulata</i>	Lilas japonais	3A
<i>Syringa villosa</i>	Lilas duveteux	3A
<i>Syringa vulgaris</i>	Lilas commun	3A
<i>Betula lenta</i>	Bouleau flexible	3B
<i>Catalpa bignonioides</i>	Arbre aux haricots	3B
<i>Catalpa speciosa</i>	Catalpa de l'ouest	3B
<i>Fraxinus quadrangulata</i>	Frêne bleu	3B
<i>Fraxinus velutina</i>	Frêne de l'Arizona	3B
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulipier de virginie	3B
<i>Maackia amurensis</i>	Maackia de l'Amur	3B
<i>Malus antonovka</i>	Pommier Antonovka	3B
<i>Malus baccata</i>	Pommier de Sibérie	3B
<i>Malus coronaria</i>	Pommier odorant	3B
<i>Malus domestica</i>	Pommier domestique	3B
<i>Malus hupehensis</i>	Pommier de Hupeh	3B
<i>Malus ioensis</i>	Pommier des prairies	3B
<i>Malus prunifolia</i>	Pommier à feuilles de prunier	3B
<i>Malus sargentii</i>	Pommier de Sargent	3B
<i>Morus alba</i>	Mûrier blanc	3B
<i>Morus rubra</i>	Mûrier rouge	3B
<i>Prunus americana</i>	Prunier d'Amérique	3B
<i>Prunus cerasifera</i>	Prunier-cerise	3B
<i>Prunus cerasus</i>	Cerisier acide	3B
<i>Prunus domestica</i>	Prunier	3B
<i>Prunus maackii</i>	Cerisier de Mandchourie	3B
<i>Prunus nigra</i>	Prunier noir	3B
<i>Prunus pensylvanica</i>	Cerisier de Pennsylvanie	3B
<i>Prunus persica</i>	Pêcher	3B
<i>Prunus sargentii</i>	Cerisier de Sargent	3B
<i>Prunus serotina</i>	Cerisier tardif	3B

<i>Prunus serrulata</i>	Cerisier de Chine	3B
<i>Prunus subhirtella</i>	Cerisier à fleurs d'automne	3B
<i>Prunus triloba</i>	Amandier à fleurs doubles	3B
<i>Prunus virginiana</i>	Cerisier de Virginie	3B
<i>Prunus x cistena</i>	Prunier des sables pourpres	3B
<i>Prunus yedoensis</i>	Cerisier de Yoshino	3B
<i>Rhus glabra</i>	Sumac à bois glabre	3B
<i>Sambucus nigra</i>	Sureau noir	3B
<i>Sophora japonica</i>	Sophora du Japon	3B
<i>Ulmus parvifolia</i>	Orme de Chine	3B
<i>Ulmus pumila</i>	Orme de Sibérie	3B
<i>Carya cordiformis</i>	Caryer cordiforme	4A
<i>Carya illinoensis</i>	Pacancier	4A
<i>Carya ovata</i>	Caryer ovale	4A
<i>Corylus colurna</i>	Noisetier de Byzance	4A
<i>Juglans cinerea</i>	Noyer cendré	4A
<i>Juglans nigra</i>	Noyer noir	4A
<i>Juglans regia</i>	Noyer commun	4A
<i>Prunus armeniaca</i>	Abricotier	4A
<i>Quercus acutissima</i>	Chêne du Japon	4A
<i>Quercus alba</i>	Chêne blanc	4A
<i>Quercus bicolor</i>	Chêne bleu	4A
<i>Quercus ellipsoidalis</i>	Chêne ellipsoïdal	4A
<i>Quercus imbricaria</i>	Chêne à lattes	4A
<i>Quercus macrocarpa</i>	Chêne à gros fruits	4A
<i>Quercus muehlenbergii</i>	Chêne jaune	4A
<i>Quercus palustris</i>	Chêne des marais	4A
<i>Quercus petraea</i>	Chêne rouvre	4A
<i>Quercus robur</i>	Chêne anglais	4A
<i>Quercus rubra</i>	Chêne rouge	4A
<i>Cercis canadensis</i>	Gainier du Canada	4B
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Olivier de bohème	4B
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Févier d'Amérique	4B
<i>Gymnocladus dioica</i>	Chicot du Canada	4B
<i>Juglans ailantifolia</i>	Noyer du Japon	4B
<i>Juglans mandshurica</i>	Noyer de Mandchourie	4B
<i>Rhus typhina</i>	Sumac vinaigrier	4B
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinier faux-acacia	4B
<i>Alnus incana</i>	Aulne blanc	5
<i>Alnus incana ssp. crispa</i>	Aulne crispé	5

<i>Alnusincana ssp. rugosa</i>	Aulne rugueux	5
<i>Betula alba</i>	Bouleau verruqueux	5
<i>Betula glandulosa</i>	Bouleau glanduleux	5
<i>Betula nigra</i>	Bouleau noir	5
<i>Betula papyrifera</i>	Bouleau à papier	5
<i>Betula pendula</i>	Bouleau européen à feuilles laricinées	5
<i>Betula platyphylla</i>	Bouleau de Mandchourie	5
<i>Betula populifolia</i>	Bouleau gris	5
<i>Betula x 'Crimson frost'</i>	Bouleau 'Crimson Frost'	5
<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	Arbre au caramel	5
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Copalme d'Amérique	5
<i>Phellodendron amurense</i>	Phellodendron de l'amour	5
<i>Populus alba</i>	Peuplier blanc	5
<i>Populus balsamifera</i>	Peuplier baumier	5
<i>Populus canadensis</i>	Peuplier du Canada	5
<i>Populus deltoides</i>	Peuplier deltoïde	5
<i>Populus grandidentata</i>	Peuplier à grandes dents	5
<i>Populus nigra</i>	Peuplier noir	5
<i>Populus simonii</i>	Peuplier de Simon	5
<i>Populus sp.(hybrides)</i>	Peupliers hybrides	5
<i>Populus tremula</i>	Peuplier tremble	5
<i>Populus tremuloides</i>	Peuplier faux-tremble	5
<i>Populus x canescens</i>	Peuplier picard	5
<i>Salix alba</i>	Saule blanc	5
<i>Salix babylonica</i>	Saule pleureur	5
<i>Salix bebbiana</i>	Saule de Bebb	5
<i>Salix caprea</i>	Saule à chatons	5
<i>Salix eleagnos</i>	Saule drapé	5
<i>Salix fragilis</i>	Saule fragile	5
<i>Salix matsudana</i>	Saule tortueux	5
<i>Salix miyabeana</i>	Saule miyabeana	5
<i>Salix nigra</i>	Saule noir	5
<i>Salix pentandra</i>	Saule à cinq étamines	5
<i>Salix x sepulcralis</i>	Saule pleureur doré	5
<i>Sambucus canadensis</i>	Sureau du canada	5
<i>Sambucus pubens</i>	Sureau rouge	5

Annexe 2 : Espèces d'arbres inventoriées à Ripon

Espèce - Nom latin	Espèce - Nom français	Nombre d'arbres
<i>Picea glauca</i>	Épinette blanche	123
<i>Acer saccharum</i>	Érable à sucre	121
<i>Pinus sylvestris</i>	Pin sylvestre	114
<i>Thuja occidentalis</i>	Thuya occidental	93
<i>Prunus pensylvanica</i>	Cerisier de pennsylvanie	82
<i>Larix laricina</i>	Mélèze laricin	78
<i>Acer rubrum</i>	Érable rouge	63
<i>Betula papyrifera</i>	Bouleau à papier	55
<i>Prunus serotina</i>	Cerisier tardif	49
<i>Populus tremuloides</i>	Peuplier faux-tremble	35
<i>Acer negundo</i>	Érable à giguère	31
<i>Pinus strobus</i>	Pin blanc	30
<i>Malus</i>	Pommiers/Pommetiers	28
<i>Quercus rubra</i>	Chêne rouge	20
<i>Ulmus americana</i>	Orme d'Amérique	20
<i>Pinus resinosa</i>	Pin rouge	19
<i>Betula cordifolia</i>	Bouleau à feuilles cordées	18
<i>Acer saccharinum</i>	Érable argenté	15
<i>Syringa</i>	Lilas	14
<i>Picea pungens</i>	Épinette du Colorado	13
<i>Sorbus</i>	Sorbier	10
<i>Prunus virginiana</i>	Cerisier de Virginie	8
<i>Abies balsamea</i>	Sapin baumier	8
<i>Pinus banksiana</i>	Pin gris	7
<i>Acer platanoides</i>	Érable de norvège	6
<i>Betula alleghaniensis</i>	Bouleau jaune	5
<i>Tilia americana</i>	Tilleul d'Amérique	5
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Frêne de pennsylvanie	4
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Févier d'Amérique	3
<i>Tsuga canadensis</i>	Pruche de l'est	3
<i>Populus balsamifera</i>	Peuplier baumier	3
<i>Ostrya virginiana</i>	Ostryer de virginie	2
<i>Ulmus glabra 'Camperdownii'</i>	Orme de montagne	2
<i>Juglans cinerea</i>	Noyer cendré	2
<i>Fagus grandifolia</i>	Hêtre à grandes feuilles	2
<i>Ulmus thomasii</i>	Orme liège	2

<i>Prunus</i>	Cerisier/Prunier	5
<i>Carya cordiformis</i>	Caryer cordiforme	2
<i>Prunus x cistena</i>	Prunier des sables pourpres	1
<i>Populus alba</i>	Peuplier blanc	1
<i>Fraxinus americana</i>	Frêne d'amérique	1
<i>Sorbus aucuparia</i>	Sorbier des oiseaux	1
<i>Tilia cordata</i>	Tilleul à petites feuilles	1
<i>Juglans nigra</i>	Noyer noir	1
<i>Quercus macrocarpa</i>	Chêne à gros fruits	1
<i>Taxus</i>	If	1
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinier faux-acacia	1
<i>Caragana arborescens</i>	Caraganier arborescent	1
<i>Acer ginnala</i>	Érable de l'Amur	1
Total		1111

Annexe 3 : Liste des tronçons de rue de Ripon et des groupes fonctionnels à prioriser pour améliorer la diversité fonctionnelle

Le tableau ci-dessous résume les informations recueillies pour chacun des tronçons de rue étudiés à Ripon, ainsi que les recommandations faites pour réduire la vulnérabilité de la municipalité.

- **Code tronçon** : chaque tronçon de rue est identifié par un code unique (voir l'annexe 4 pour leur localisation au sein de la municipalité).
- **Nb arbres inv.** : nombre d'arbres inventoriés.
- **Nb arbres à planter** : nombre idéal d'arbres à planter afin d'atteindre une densité optimale à Ripon, soit 1 arbre tous les 7 mètres, et ce sur les deux côtés de rue.
- **Long. Tronçon** : longueur de chacun des tronçons (en m).
- **Proportions d'arbres à planter** : afin d'optimiser la répartition équitable des espèces à planter, des recommandations sont faites sous forme de proportions d'arbres à planter pour chacun des groupes. Ainsi, les groupes ayant les proportions les plus élevées devraient être priorisées lors des interventions de plantation. La colonne avec le nombre d'arbres à planter peut servir de guide pour calculer le nombre d'arbres ciblés par groupes.
- **Div. Fon. actuelle** : indice de diversité fonctionnelle actuelle.
- **Div. Fon. visée** : nouvel indice de diversité fonctionnelle si les recommandations de plantation sont suivies.

Informations tronçons					Proportion d'arbres à planter (%)									Diversité fonctionnelle	
Rue	Code tronçon	Nb arbres inv.	Nb arbres à planter	Long. Tronç. (m)	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5	Div. Fon. actuelle	Div. Fon. visée
Bélanger	25	9	23	111,8	4	15	15	7	15	7	15	15	7	3,93	9
Bélanger	32	31	26	200,4	0	19	0	19	7	19	19	19	0	3,45	8,21
Bélanger	33	207	0	331,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,43	2,43
Boucher	22	5	17	75,8	13	13	0	7	13	13	13	13	13	1,65	8,81
Boucher	29	25	0	85,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,21	3,21
Boucher	30	32	43	262,5	0	18	7	5	14	9	18	18	11	5,09	8,9
Boucher	31	68	7	261,4	0	29	0	0	14	0	29	29	0	4,24	5,63
Coursol	1	115	0	332,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,28	4,28
Derouin	6	6	14	69,5	17	17	17	8	17	0	0	17	8	3,78	9
Derouin	7	27	0	69,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3	3,3
Desjardins	4	129	0	338,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,37	5,37
Drouin	5	4	45	171,3	12	12	12	12	10	7	12	12	10	2,83	9
Guay	3	33	64	338,1	6	17	0	6	12	17	12	17	12	4,92	8,98
Landriault	2	20	60	280,4	10	15	5	7	15	7	13	15	15	4,43	9
Landry	20	1	20	74,3	6	12	12	12	12	12	12	12	12	1	9
Landry	21	1	16	61,2	12	12	12	6	12	12	12	12	12	1	9
Major	13	16	15	109,7	11	17	11	0	11	0	17	17	17	3,42	8,08
Major	14	8	35	150,1	5	14	11	11	11	14	11	14	11	5,3	9
Major	18	4	16	70,3	14	14	0	14	14	7	14	7	14	2,83	9
Major	19	15	61	266,4	5	14	0	12	14	12	14	14	14	2,89	9
Principale	26	20	5	88,0	0	33	0	0	0	0	33	0	33	3,66	5,84
Principale	34	40	8	169,2	0	29	0	0	14	0	29	29	0	3,8	5,8
Principale	36	97	0	74,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,91	3,91
Principale	37	48	1	172,3	0	100	0	0	0	0	0	0	0	6,34	6,74
Ranger	8	3	17	71,5	13	13	13	7	13	7	7	13	13	3	9
Ranger	15	17	33	175,6	3	16	11	14	16	3	16	16	5	4,39	9
Ranger	16	2	24	92,2	8	12	8	12	12	12	12	12	12	2	9
Ranger	27	58	0	49,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,86	3,86
Ranger	28	24	0	80,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,52	4,52
Route 317	12	1	102	362,1	10	11	11	11	11	11	11	11	11	1	9
Roy	11	45	13	202,0	0	0	0	0	21	0	29	29	21	4,83	7,29

