



REPENSER LE REBOISEMENT

GUIDE STRATÉGIQUE POUR L'AUGMENTATION DE
LA CANOPÉE ET DE LA RÉSILIENCE DE LA FORÊT
URBAINE DE LA RÉGION MÉTROPOLITAINE DE
MONTRÉAL

- OCTOBRE 2016 -

Sous la direction du

**JOUR
DE LA
TERRE**
• QUEBEC

En collaboration avec le **comité
reboisement de la Communauté
métropolitaine de Montréal**



AUTEUR

Alain Paquette, Centre d'étude de la forêt, Chaire Hydro-Québec / CRSNG sur le contrôle de la croissance de l'arbre, Université du Québec à Montréal

DIRECTION

Cornelia Garbe, Jour de la Terre

COMITÉ RÉVISEUR

Jim Routier, Communauté métropolitaine de Montréal

Daniel Boyer, Ville de Laval

Caroline Bisson, Ville de Carignan

Karine Lehoux, Nature Action Québec

Marc Léger, Ville de Terrebonne

Hafid Amrane, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Christian Messier, Université du Québec en Outaouais, Institut des Sciences de la Forêt tempérée

POUR CITATION

Paquette, Alain, 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.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE	4
RÉSUMÉ EXÉCUTIF	5
1. INTRODUCTION	7
2. LE MILIEU URBAIN ET SES PARTICULARITÉS POUR LA PLANTATION D'ARBRES	9
2.1. Un milieu difficile pour la croissance des arbres	9
2.2. Un milieu moins diversifié qu'il n'y paraît	10
2.3. Anticiper les changements futurs	11
3. STRATÉGIES DE REBOISEMENT	13
3.1. Un aménagement vers une nouvelle diversité	13
3.2. Augmenter la diversité verticale	14
3.3. Augmenter la diversité génétique	15
3.4. Créer de nouvelles relations avec les pépinières	15
3.5. Privilégier les arbres à grand déploiement	15
4. CONSEILS OPÉRATIONNELS	17
4.1. Changer les patrons de plantation	17
4.2. Planter des arbres de plus petit calibre	17
4.3. Planifier un contrôle de la végétation	18
4.4. Pratiquer des tailles de formations	19
5. COMMENT APPLIQUER L'APPROCHE DE LA DIVERSITÉ FONCTIONNELLE	20
5.1. Les groupes fonctionnels – simples et faciles d'application	20
5.2. Démarche	20
6. CONCLUSION	22
7. BIBLIOGRAPHIE	23
ANNEXE A – Cartes de priorisation	24
ANNEXE B – Références et autres ressources pratiques	25
ANNEXE C – La création des groupes fonctionnels	27



PRÉAMBULE

Le présent document est un document du Jour de la Terre fait en collaboration avec le comité reboisement de la Communauté métropolitaine de Montréal.

Le Jour de la Terre compte parmi ses activités originales la plantation d'arbres dans l'ensemble de la province du Québec. Pour souligner le 375^e anniversaire de Montréal, le Jour de la Terre a mis en place un ambitieux programme de plantation, 375 000 arbres, afin de planter 375 000 arbres sur le territoire du Grand Montréal et laisser un legs qui aura un impact majeur sur la qualité de vie de la communauté. Le Jour de la Terre coordonne le projet avec l'appui de la Fondation David Suzuki, de la Fondation Cowboys Fringants, de la Compagnie Larivée Cabot Champagne en collaboration avec Québecor et le soutien financier du gouvernement du Québec.

Améliorer la connectivité des habitats et soutenir la création d'une ceinture verte autour de Montréal sont les principales motivations du Jour de la Terre dans ses efforts de reboisement. Ainsi, la création de ce guide est le reflet d'une expertise unique acquise par le Jour de la Terre et les récentes avancées scientifiques. Aujourd'hui, ce guide est mis à la disposition de tous afin de créer des forêts en meilleure santé, mieux connectées et plus résilientes, face aux stress actuels et à venir.

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Nous vivons dans un temps de grands changements. Avec les changements globaux (surtout les changements climatiques), les conditions de vie de tous les êtres vivants sont souvent dégradées. Les arbres de nos milieux urbains, déjà confrontés à de multiples stress, seront davantage mis en danger par les changements climatiques, l'étalement urbain ou des pestes et maladies exotiques pour en nommer quelques exemples. Pourtant, il existe une étroite relation entre la santé humaine et la forêt urbaine. Ce sont les infrastructures végétales qui sont connues parmi les structures les plus performantes pour fournir d'amples services à la société – autant au niveau de l'économie que du bien-être (y compris la santé) des citoyens. Ainsi, il a été démontré que la récente perte d'arbres due à l'agrile du frêne augmente la mortalité parmi des citoyens américains surtout à cause des maladies respiratoires et cardio-vasculaires. Pour une ville de la taille de Montréal (population 1,9 M) cette mortalité additionnelle s'élèverait à plus de 1000 individus par année, six ans après l'arrivée de l'insecte (Donovan et al. 2013). Au niveau économique par exemple, les arbres de Montréal feraient sauver 16 M\$ à la ville en réduisant les surverses (Alexander et DePratto 2014). Il est évident que nous avons besoin de préparer nos forêts urbaines aux changements à venir de façon à ce qu'elles puissent persister et continuer à fournir et augmenter les services rendus face à un futur incertain.

Or, cela implique des approches différentes du présent. Une caractéristique importante des forêts résilientes est une grande diversité (horizontale et verticale) mais la diversité horizontale actuelle est très loin de ce que l'on peut appeler une grande biodiversité. À Montréal par exemple, seulement deux genres (les érables et les frênes) constituent plus de 60 % des arbres dans les rues! Afin d'augmenter la biodiversité

urbaine, il n'est pas seulement important d'augmenter le nombre d'espèces plantées, mais également la diversité des caractéristiques biologiques (traits fonctionnels) de ces espèces afin d'atteindre une plus grande diversité fonctionnelle. Nous devons planter des espèces d'arbres tolérants aux vents violents, à la sécheresse, aux inondations, aux froids intenses, aux redoux soudains en hiver, aux insectes et maladies exotiques, etc. Puisqu'aucune espèce d'arbre ne peut résister à tous ces stress, il faut être prudent et minimiser notre exposition au risque en multipliant la diversité biologique de notre parc urbain d'arbres.

Ce guide fournit des conseils stratégiques et opérationnels visant à optimiser la gestion quotidienne des plantations d'arbres, dans le but d'atteindre les objectifs fixés de biodiversité, de résilience, et de rendement en services écosystémiques. Dans un premier temps, ce guide propose un aménagement vers une nouvelle diversité. Cette nouvelle diversité tourne notre regard de la diversité en espèces vers celle des caractéristiques biologiques, elle inclut des notions de diversité génétique et elle promeut des aménagements qui augmentent la diversité verticale (diversité des structures). Par la suite, des conseils stratégiques quant à l'importance d'intégrer les pépinières dans nos démarches de planification et les biens et services liés au déploiement de nos arbres urbains sont présentés. Ces moyens visant à mettre en place des forêts plus résilientes à long terme doivent obligatoirement être soutenus par une gestion opérationnelle complémentaire au quotidien. Ainsi, le guide propose quelques conseils opérationnels clés quant aux patrons de plantation, mesures d'entretien et de contrôle de la végétation herbacée.

Ensemble, ces conseils permettront d'obtenir une forêt en meilleure santé et mieux outillée pour absorber et récupérer suite aux stress provoqués par les changements globaux (changements climatiques, espèces et maladies exotiques, urbanisation...). Il s'agit aussi d'augmenter les services rendus, notamment sur la santé, par les infrastructures végétales. Se doter d'une vision à long terme permet également d'éviter les pièges d'une gestion de réaction en temps de crise, comme la présente (agrile du frêne) et la précédente (maladie hollandaise de l'orme), qui peut avoir comme conséquence la mise en place de conditions favorables à la prochaine crise.



1. INTRODUCTION

Les arbres en ville ont de nombreux effets positifs sur notre qualité de vie. En plus de nous protéger du soleil et d'embellir notre milieu de vie, ils :

- améliorent la qualité de l'air et réduisent le nombre d'hospitalisations et décès prématurés reliés au smog;
- diminuent l'effet des îlots de chaleur sur la santé;
- protègent et améliorent la structure des sols et la qualité de l'eau;
- diminuent l'érosion et protègent les infrastructures urbaines lors de grandes pluies en retenant l'eau;
- emmagasinent le carbone minimisant ainsi les changements climatiques;
- participent au maintien et à l'augmentation de la biodiversité.

Ces nombreux bénéfices qui assurent notre survie et notre bien-être se déclinent en différents services : l'approvisionnement (p. ex. : bois), la régulation (p. ex. : pollinisation, régulation du climat), le support (p. ex. : cycle des nutriments, production primaire) et la culture (p. ex. : esthétisme, récréotourisme). À titre d'exemple, des économistes de la Banque TD évaluent certains de ces services écologiques à près de 25 M\$ par année pour la seule Ville de Montréal, soit environ 4 \$ par arbre, ou 1,88 \$ par dollar investi (Alexander et DePratto 2014). La contribution des arbres, boisés et écosystèmes forestiers à la qualité de vie des communautés est telle qu'il est commun aujourd'hui de les désigner comme des infrastructures vertes.

Les changements globaux (CG), et surtout les changements climatiques (CC) menacent de plus en plus les infrastructures vertes de nos villes, particulièrement les arbres (Ordóñez et Duinker 2015). Les arbres en milieu urbain sont de plus en plus touchés par l'augmentation des stress environnementaux et l'occurrence des insectes et maladies exotiques.

Les services rendus par les arbres risquent d'être considérablement réduits face aux menaces grandissantes liées aux CC (p. ex. : la régulation du climat local), et aux CG (p. ex. : le contrôle des eaux de ruissellement, la prévention des événements extrêmes ou aux bénéfices d'ordre esthétique ou récréatif).

Actuellement, la grande région de Montréal voit naître de nombreux projets de plantation : le Plan d'action canopée, 375 000 arbres, l'Alliance forêt urbaine, et évidemment le remplacement des frênes, pour ne citer qu'eux. Ce mouvement est partagé au niveau politique comme en témoigne le Plan métropolitain d'aménagement et de développement (PMAD) qui comprend la création d'une Trame verte et bleue du Grand Montréal et l'identification de bois et de corridors forestiers métropolitains (CMM 2012) et la Stratégie métropolitaine de lutte contre l'agrile du frêne, adoptée à l'automne 2014. De plus, une récente étude basée sur la protection de la biodiversité et la réduction des îlots de chaleur a identifié des zones prioritaires, pour la protection ainsi que pour le reboisement (Rayfield et al. 2015, Annexe A). Cependant, ces efforts doivent être guidés de façon à optimiser leur contribution à la résilience de la forêt urbaine de demain. Il est en effet important de ne pas reproduire les schémas du passé. On se rappellera que les ormes touchés par la maladie hollandaise ont été remplacés, à l'époque, en grande partie par des frênes, aujourd'hui eux-mêmes attaqués par l'agrile.

Le présent guide se voit davantage stratégique qu'opérationnel. Il a pour objectif de fournir aux municipalités et acteurs impliqués dans les efforts de reboisement de la région métropolitaine de Montréal, des stratégies générales afin d'augmenter la santé et la résilience de nos forêts urbaines face aux enjeux actuels et futurs. Il présente les considérations à prendre en compte lors d'un projet de reboisement telles que la diversité et la

résilience. De plus, ce document fournit des exemples de reboisement efficaces ainsi que des liens vers des ressources utiles (voir l'annexe B). D'excellents guides opérationnels sont par ailleurs disponibles sur les caractéristiques des espèces quant aux particularités du milieu urbain (p. ex. AQPP 2014), comme la tolérance aux sels de déglacage, ainsi que les particularités à surveiller pour l'avenir, et les différences parfois importantes entre les villes (Ordóñez et Duinker 2015).



2. LE MILIEU URBAIN ET SES PARTICULARITÉS POUR LA PLANTATION D'ARBRES

2.1. Un milieu difficile pour la croissance des arbres

Avant de planifier l'aménagement de nouveaux espaces verts et d'intégrer de nouvelles stratégies dans les efforts de reboisement, il est important de se rappeler les enjeux majeurs du milieu urbain.

En premier lieu, c'est un milieu qui est reconnu comme un milieu particulièrement difficile pour la croissance des arbres. En effet, ceux qui poussent bien en forêt ne seront pas nécessairement adaptés aux conditions particulières de la ville, et vice-versa.

En plus d'être exposés aux polluants atmosphériques, les arbres n'ont souvent pas l'espace souterrain ou aérien nécessaire pour se développer normalement. Les arbres au centre-ville plus particulièrement, ne trouvent

pas assez de sols dans les fosses que l'on met à leur disposition pour pouvoir atteindre de grandes tailles. Les nombreuses blessures causées par les humains, notamment par les vélos que l'on cadenasse sur les plus petits arbres rendent difficiles leur survie. Lorsqu'ils survivent, leur durée de vie est affectée.

Cependant, la ville, comme la forêt, a des conditions de croissance pour les arbres diversifiées. Certains milieux, comme les parcs, sont évidemment plus faciles que d'autres, comme les trottoirs. De plus, il existe au sein même des villes un gradient d'urbanisation, avec des conditions plus difficiles au centre qu'en périphérie, pour un même type d'emplacement, dues à un espace de croissance aérien et souterrain de plus en plus restreint (du bois à la rue, Tableau 1). Les arbres en milieu urbain peuvent être associés globalement à quatre grands types

Tableau 1 – Résumé des grands groupes d'environnements de plantation retrouvés en ville

	Types d'emplacements et exemples	Fréquence estimée (%)	Conditions (stress) particulières	Contraintes d'acceptabilité à la présence des arbres
Rue	Banquette, trottoir, terre-plein, et îlot	25	Stress les plus importants : espace disponible et infrastructures (aérien et souterrain), sel (embruns et sol), compaction, pollution, vent, isolement, chaleur extrême, stress mécanique et blessure.	Contraintes les plus importantes: acceptabilité publique, feuilles, fruits et fleurs, désagréments (puccerons), infrastructures municipales, entretien des voies publiques et circulation des équipements, allergies et esthétique.
Parterre	Devant les résidences dans l'emprise municipale, mais hors trottoir	40	Identique à la section « Rue », mais sensiblement diminuées.	Identique à la section « Rue », mais sensiblement diminuées.
Parc	Les grands terrains appartenant par exemple au gouvernement	30	Pollution, vent, isolement, chaleur, stress mécanique et blessure. À noter : ces stress ne jouent qu'un rôle mineur dans ce milieu.	Allergies, esthétique, sécurité publique (bosquets et feuillage bas), espèces exotiques et envahissantes. À noter : ces facteurs sont moins contraignants qu'aux sections « Rue » et « Parterre ».
Bois	Forêt « naturelle » en milieu urbain	NA	Faible; semblable à la forêt naturelle	Espèces exotiques et envahissantes.

Note : Les municipalités ne font pas toujours toutes ces distinctions, ou utilisent des appellations ou types différents, mais le tableau regroupe l'essentiel des conditions urbaines répertoriées (incl. ~5 % autres). La fréquence estimée représente la proportion d'arbres selon le type d'emplacement. Elle est basée sur les inventaires des villes disponibles. Les arbres situés dans les bois urbains ne sont généralement pas dénombrés par tige.

d'environnements, ces catégories étant elles-mêmes divisibles. Les conditions spécifiques à ces différents environnements sont présentées au Tableau 1.

2.2. Un milieu moins diversifié qu'il n'y paraît

On répertorie près de 700 « variétés » différentes d'arbres plantés à Montréal et plus de 400 à Québec. Mais ce nombre est réduit de façon importante lorsqu'on ne considère que le nombre d'espèces, et non pas les cultivars d'une même espèce (322 pour Montréal et 182 pour Québec, par exemple).

Il pousse de façon naturelle au Québec moins de soixante espèces arborescentes (arbres et grands arbustes) (Paquette et Messier 2011). Ces chiffres pourraient ainsi donner à penser que les grandes villes du Québec ont mis en place des forêts urbaines très diversifiées, nettement plus que dans les forêts avoisinantes, mais voici quelques constats importants :

a. Sous une apparente grande diversité, les forêts urbaines sont dominées par seulement quelques espèces très abondantes.

En effet, seulement quelques espèces sont utilisées de façon répétitive et composent à elles seules la vaste majorité des arbres en ville. À Montréal par exemple, l'érable de Norvège à lui seul constitue environ 22 % des arbres présents, son « cousin » l'érable argenté représente 15 % des arbres. Ces deux espèces sont accompagnées par d'autres érables totalisant 41 % des arbres de la ville. Les érables sont sans surprise suivis des frênes (surtout le frêne rouge; 18 %), avec 21 % du total. Ces deux genres à eux seuls couvrent donc plus de 60 % des

arbres à Montréal.

Les proportions de genres et d'espèces d'arbres trouvés (grâce aux inventaires réalisés pour se préparer au passage de l'agrile) dans d'autres municipalités du Grand Montréal reflètent la même problématique.

b. Les espèces utilisées sont très semblables entre elles.

Par un simple effet de filtre (disponibilité des arbres, croissance urbaine, acceptabilité, etc.), les espèces plantées en ville, notamment les dominantes, se ressemblent beaucoup au niveau de leurs caractéristiques, que nous appellerons aussi « traits fonctionnels ». La conséquence est une forêt moins résiliente, avec des espèces toutes sensibles aux mêmes stress.

De ce fait, la situation urbaine est problématique et déconnectée des forêts naturelles environnantes. En effet, les conifères (*Pinaceae* surtout) ne sont pas nombreux à Montréal (< 5 % du couvert), comme dans d'autres villes au Canada (Ordóñez et Duinker 2015). Or, les conifères apportent beaucoup de diversité et de résilience dans un environnement dominé par les feuillus.

c. Ces espèces dominantes sont généralement les mêmes dans toutes les grandes villes du Nord-est américain.

Les arbres utilisés dans les municipalités du Nord-est américain sont sensiblement les mêmes, la diversité urbaine s'en trouve ainsi déconnectée de son milieu, de la forêt naturelle régionale (Nock et al. 2013).

d. Des villes pleines de clones – la perte de la diversité génétique.

En ville, des variétés horticoles des espèces sont souvent utilisées pour amplifier des traits souhaitables (p. ex. : la floraison, *Syringa reticulata*) ou en éviter d'autres (p. ex. : des épines, *Gleditsia triacanthos*). Ces nouveaux traits n'étant pas héréditaires, il est nécessaire de toujours greffer une branche de la variété mère sur une souche sauvage produisant ainsi des individus génétiquement identiques. Ces clones ont sensiblement la même réponse aux stress et constituent ainsi des peuplements d'une faible résilience.

2.3. Anticiper les changements futurs

Les forêts urbaines sont souvent nommées comme un outil important pour atténuer les effets négatifs des changements globaux sur les humains. La pollution de l'air, les épisodes de smog, l'allongement des saisons des allergènes, l'augmentation des températures et les îlots de chaleur (RNCREQ 2015) ne sont que quelques exemples des effets néfastes des changements globaux sur la santé humaine. Dans une étude déjà célèbre, des chercheurs ont pu mesurer à la négative les effets délétères de la perte d'arbres dans des grandes villes, suite à l'arrivée de l'agrile du frêne en Amérique du Nord. Le résultat était une augmentation importante des décès liés aux maladies cardio-vasculaires et respiratoires durant les six années suivant l'apparition de la mortalité des frênes dans 15 états américains, soit environ 21,000 décès supplémentaires (Donovan et al. 2013). Il est évident que les infrastructures vertes et surtout les arbres et zones boisées sont celles qui fournissent le plus de services écosystémiques et qui permettent aux communautés de vivre dans un environnement de qualité. De plus, les infrastructures vertes sont les seules qui prennent de la valeur avec le temps selon leur croissance. Il

est donc nécessaire de poser des actions concrètes et ciblées.

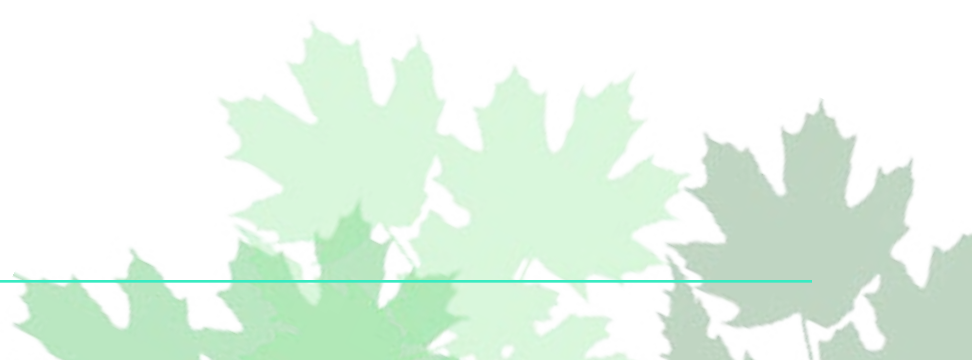
Toutefois, ces infrastructures vertes sont menacées elles-mêmes par les changements globaux. Aux stress déjà existants s'ajoute une nouvelle liste d'enjeux. Il a été démontré que les villes possèdent un microclimat. Ce dernier a tendance à créer des réchauffements plus marqués au niveau local. Ainsi, les stress qui augmentent la vulnérabilité de nos forêts urbaines sont surtout liés à la sécheresse diminuant la vigueur des arbres et en les rendant plus susceptibles aux insectes et maladies (Ordóñez et Duinker 2015). Bien qu'ils soient difficiles à prédire, de plus en plus d'évidences pointent vers une augmentation des probabilités d'événements climatiques extrêmes (vents, verglas, tempêtes, sécheresse...) (Lindner et al. 2010, RNCREQ 2015). De plus, le climat changeant, un nombre grandissant d'insectes et de maladies exotiques, comme l'agrile du frêne, envahissent nos villes et tuent de plus en plus d'espèces d'arbres. En effet, les changements globaux entraînent des déplacements d'espèces, notamment des pestes envahissantes (Tableau 2).

Nous avons besoin de forêts urbaines aptes à persister face aux stress actuels et futurs afin de continuer de fournir des services écosystémiques essentiels pour notre bien-être. Les modèles de reboisement actuels ne permettent pas de mettre en place des arbres et forêts urbains résilients face aux changements globaux. Dans ce qui suit, nous allons présenter des stratégies de planifications visant une plus grande résilience des forêts urbaines. Il est important de noter qu'il ne s'agit que d'exemples, que d'autres insectes et maladies feront certainement leur apparition, alors que ceux présentés ici pourraient ne jamais devenir problématiques.

Tableau 2 – Exemples d’insectes et maladies aux portes de Montréal

	Biologie et espèce(s) hôte(s)	Dernières observations de progression	Notes
Agrile du frêne (<i>Agrilus planipennis</i>)	Insecte attaquant et tuant toutes les espèces de frênes. Les larves creusent des galeries en « S » dans le phloème pour s’en nourrir, empêchant ainsi la sève de circuler et asséchant l’arbre.	L’agrile a tué des millions de frênes dans le Sud-Ouest de l’Ontario, le Michigan et ses États avoisinants. Plusieurs villes du Québec sont déjà affectées, dont la région métropolitaine.	La perte totale des arbres est prévisible en moins de 6 ans généralement (sans intervention). Lutte (ralentissement) possible et souhaitable, mais coûteuse.
Longicorne asiatique (<i>Anoplophora glabripennis</i>)	Les larves mangent le phloème et migrent dans le bois, creusant des galeries et provoquant la mort des arbres. Cet insecte semble préférer les érables (40 % à Mtl), mais s’attaque à pratiquement tous les feuillus.	Nord-est des États-Unis et Ontario.	Heureusement, toutes les infestations sont soumises à la quarantaine et sont en voie d’éradication. Le risque ne disparaît pas complètement cependant.
Flétrissement du chêne (<i>Ceratocystis fagacearum</i>)	Champignon affectant les tissus vasculaires. Tous les chênes sont susceptibles d’être atteints et finissent par mourir, mais les chênes rouges sont plus particulièrement vulnérables.	Non présent encore au Québec, mais très préoccupant par l’ampleur des dégâts anticipés.	Présente au centre est et Nord-est des États-Unis.

Source, informations et autres insectes et maladies : <http://www.ravageursexotiques.gc.ca/accueil>



3. STRATÉGIES DE REBOISEMENT

Les enjeux stratégiques principaux afin de créer des forêts urbaines résilientes face aux changements globaux sont avant tout l'augmentation de la quantité et de la diversité d'arbres en ville. Ainsi, nous présentons dans ce qui suit, d'abord des conseils visant à augmenter la diversité – autant horizontale que verticale, puis nous élaborons d'autres stratégies visant la création de systèmes résilients par exemple les patrons de plantations ou les relations avec les pépinières.

Même s'il existe de nombreux guides opérationnels traitant les aspects techniques des plantations d'arbres, nous finirons notre liste de conseils avec quelques recommandations opérationnelles, car elles méritent encore aujourd'hui d'être soulignées puisque mal comprises.

Les conseils de ce guide visent à optimiser la gestion quotidienne des plantations d'arbres, notamment le remplacement des arbres morts (p. ex. : des frênes) dans le but d'atteindre les objectifs fixés de biodiversité, de résilience, et de rendement en services écosystémiques. Le but étant d'obtenir, à terme, une forêt en meilleure santé et mieux outillée pour absorber et récupérer suite aux stress entraînés par les changements globaux (changements climatiques, espèces et maladies exotiques, urbanisation, etc.). Il s'agit aussi d'augmenter les services rendus, notamment sur la santé, par les infrastructures végétales. Se doter d'une vision à long terme permet également d'éviter les pièges d'une gestion de réaction en temps de crise, comme la présente (agrile du frêne) et la précédente (maladie hollandaise de l'orme), qui peut avoir comme conséquence la mise en place de conditions favorables à la prochaine crise.

3.1. Un aménagement vers une nouvelle diversité

— De la diversité en espèces à la diversité des caractéristiques biologiques et fonctionnelles.

Historiquement, la plantation (le choix des essences et leur distribution) d'arbres dans les villes en général était basée sur des critères d'esthétisme, d'acceptabilité par les citoyens, et de tolérance des arbres envers les stress particuliers que l'on rencontre en ville (sel, compaction, pollution). Face aux défis actuels et futurs (p. ex. : insectes, maladies exotiques et l'accélération des changements climatiques), nous devons revoir les façons de réaliser nos plantations pour s'assurer que les arbres que l'on plante aujourd'hui puissent se développer et fournir les nombreux services écologiques que l'on attend d'eux.

Basés sur les nouvelles avancées de la science de la complexité, les écosystèmes, y compris les forêts urbaines, sont définis comme des systèmes complexes. La résilience est une propriété importante de ces ensembles, c'est-à-dire la capacité d'absorber des changements tels que les perturbations et de maintenir ou récupérer ses structures et fonctions principales par la suite. Les concepts de système complexe et de résilience pour la forêt et les arbres sont relativement nouveaux, particulièrement en milieu urbain, mais ils sont de plus en plus utilisés dans d'autres domaines, notamment en économie, sciences sociales et médecine. Nous devrions donc incorporer une plus grande résilience de nos forêts urbaines dans nos critères de plantation afin d'augmenter la qualité de ces dernières, leur rendement en services, mais surtout la probabilité qu'elles pourront continuer à rendre des services face aux changements globaux.



Un des piliers de la science de la complexité et de la résilience des systèmes complexes est la diversification, autant horizontale que verticale (voir point 4.2.).

Augmenter la diversité horizontale – en redéfinissant biodiversité

Lorsque nous pensons à la diversité, nous l'estimons souvent en termes de nombre d'espèces. Toutefois, les espèces ont développé toutes sortes de caractéristiques biologiques (traits) bien particulières leur permettant de survivre et croître dans des conditions diverses et souvent extrêmes. Une comparaison de la diversité en espèce et de la diversité fonctionnelle (la diversité des caractéristiques biologiques) se trouve dans l'encadré 1.

Encadré 1 – Diversité en espèces et diversité fonctionnelle

A - UNE ESPÈCE



B - TROIS ESPÈCES



C - TROIS ESPÈCES



Voici trois communautés d'arbres : La communauté A est composée d'une seule espèce, les communautés B et C de 3 espèces chacune.

En augmentant le nombre d'espèces (communauté A vers B ou C), nous augmentons la diversité en espèces (biodiversité au sens commun). Toutefois, le choix des essences est important à considérer.

La communauté B est composée de 3 espèces semblables au niveau de leurs caractéristiques biologiques (traits fonctionnels). À titre d'exemple, imaginez un mélange d'érable argenté, érable de Norvège et frêne rouge.

La communauté C est également composée de 3 espèces. Cependant, ces espèces sont très diversifiées au niveau de leurs caractéristiques. Par exemple, imaginez un mélange de chicot du Canada, amélanchier et thuya.

En conséquence, malgré la diversité d'espèces dans les communautés B et C, la communauté C a une plus grande diversité fonctionnelle, offrant plus de services écologiques et une plus grande résilience.

Il nous faut planter des espèces d'arbres tolérants aux vents violents, à la sécheresse, aux inondations, aux froids intenses, aux redoux soudains en hiver, aux insectes et maladies exotiques, etc. Puisqu'aucune espèce d'arbre ne peut résister à tous ces stress, il faut être prudent et minimiser notre exposition au risque en multipliant la diversité biologique de notre parc urbain d'arbres, ce que la science écologique appelle « l'effet de portefeuille », en référence au phénomène bien connu de la diversification des portefeuilles financiers. Dans la section 5, vous trouverez une approche pratique et facile vous permettant d'appliquer les notions de diversité fonctionnelle afin de créer des plantations plus résilientes.

3.2. Augmenter la diversité verticale

— Un réseau d'interactions à travers les strates pour des communautés plus résilientes

Un deuxième élément important de la diversification se trouve au niveau de la multiplicité des interactions entre les organismes vivants. On parle ici des interactions qui se sont développées entre différents organismes afin de former des écosystèmes capables de résister et de s'adapter aux pires catastrophes. L'arbre « naturel » se retrouve rarement seul. En termes scientifiques, on parle de symbiose, de facilitation et de complémentarité, des mécanismes que l'on commence à mieux comprendre et qui permettent à l'arbre de mieux vivre en communautés diversifiées et complexes plutôt qu'en solitaire ou en groupes homogènes. Il nous faut donc essayer de créer le plus possible des aménagements urbains qui reproduisent la complexité d'interactions fortes dans lesquelles nos arbres ont évolué naturellement. De façon plus appliquée, on pourra ainsi s'attarder à créer des systèmes à plus grande diversité en structure, notamment verticale puisque facile à

réaliser. Quand cela est possible, faire des plantations en groupes d'espèces diversifiées qui incluent aussi des herbacées et des arbustes afin de créer un réseau naturel d'interactions favorisant l'autorégulation, l'adaptation et la résilience face aux pressions biologiques, climatiques et environnementales. On sait que plus un milieu est diversifié en espèces ayant des attributs biologiques différents et des interactions fortes, plus ces espèces pourront faire une utilisation optimale des ressources et plus elles pourront résister aux nombreux stress qui les menacent. Pour maximiser la résistance de ces sanctuaires de nature en ville, il faut les relier entre eux le plus possible pour favoriser les échanges entre organismes. Cette connectivité est essentielle à la durabilité du réseau d'arbres, boisés et forêts que nous mettrons en place collectivement et se reflète à plus grande échelle notamment dans les projets de ceinture verte, et la Trame verte et bleue.

3.3. Augmenter la diversité génétique

On rappelle que l'on répertorie près de 700 « variétés » différentes d'arbres plantés à Montréal. Mais ce nombre est réduit de façon importante lorsqu'on ne considère que le nombre d'espèces, et non pas les cultivars d'une même espèce. En effet, plus de la moitié de ces variétés sont des cultivars résultant en seulement 322 espèces différentes à Montréal. De plus, les individus d'un même cultivar sont souvent tous génétiquement identiques. Alors planter 50 féviers inermes 'Skyline' (*Gleditsia triacanthos* 'Skycole') équivaut génétiquement à la plantation d'un seul individu. Ces clones auront sensiblement les mêmes réponses aux stress (p. ex. : aux gels tardifs, maladies, insectes, etc.). Lors de l'arrivée d'un stress fatal, il est donc fort probable que ces 50 arbres dépériraient dans les mêmes délais causant ainsi des coûts importants tant économiques qu'écologiques.

3.4. Créer de nouvelles relations avec les pépinières

Une contrainte majeure lors des aménagements peut être la disponibilité des plants en pépinière. Souvent un cercle vicieux se crée. Les aménagistes plantent ce qui est disponible en pépinière et les pépinières ne produisent que des plantes qui leur sont demandées. En tant que gestionnaire, il est primordial d'informer ces partenaires (pépinières municipales et privées) de ses intentions de plantation pour les prochaines années de façon à ce qu'ils puissent s'y adapter. Dans l'esprit de la diversité fonctionnelle, il faudrait éviter de recommander une espèce particulière pour prévenir les problèmes que nous connaissons aujourd'hui et ceux liés à la disponibilité. À la place, il est conseillé de recommander plutôt des groupes fonctionnels, parmi lesquels le gestionnaire pourra choisir la ou les espèces lui permettant d'atteindre ses objectifs, tout en considérant les contraintes d'un secteur donné.

3.5. Privilégier les arbres à grand déploiement

Dans les dernières années, les directives de réduire les coûts liés à la plantation et à l'entretien des arbres ont amené à une tendance préoccupante : la taille moyenne des arbres à maturité diminue. Les vieux arbres matures à grand déploiement sont souvent remplacés avec des arbres dont la hauteur et la largeur de la couronne à maturité sont nettement inférieures à ceux de l'arbre remplacé. Cette tendance est observée dans plusieurs villes et est appelée à créer des paysages d'arbres « lollipops » (Johnston 2015).

Dans le but de réduire les coûts à court terme, cette tendance changera le

portrait d'une ville à long terme et l'ampleur des biens et services rendus par ces arbres, car ces derniers sont fortement liés au déploiement de la couronne des arbres.

Par exemple, Sydnor and Subburayalu (2011) ont comparé, après 46 saisons de croissance, les bénéfices environnementaux de dix des arbres choisis au hasard parmi deux plantations à Brooklyn en Ohio. Ils ont démontré que les féviers (15,3 m de haut et 13,7 m de large en moyenne), fournissaient 430 \$US en bénéfices par arbre tandis que les aubépines (7,4 m de haut et 7,7 m de large en moyenne) affichaient une valeur moyenne de 57 \$ par arbre.



4. CONSEILS OPÉRATIONNELS

Bien que le présent guide soit davantage stratégique qu'opérationnel, la présente section aborde quelques éléments d'ordre général sur les plantations. Ces conseils reviennent sur certains aspects de la plantation d'arbres moins connus qui contribuent à augmenter la santé et la résilience de nos forêts urbaines.

4.1. Changer les patrons de plantation

En lien avec une augmentation de la diversité verticale (point 3.2.), une multiplicité d'interactions entre les arbres (et aussi d'autres végétaux comme des arbustes et plantes herbacées) contribue aux interactions naturelles et aux forêts urbaines plus résilientes. Toutefois, nos aménagements urbains sont souvent linéaires avec de grands espacements entre les arbres. Lorsque possible, il faut regrouper des végétaux pour permettre leurs interactions.

Nous pourrions par exemple penser à élargir les fosses dans les trottoirs afin de planter d'autres végétaux autour des arbres (figure 1). De plus, les distances entre les fosses pourraient être plus grandes afin de toujours permettre une circulation facile pour les piétons.

4.2. Planter des arbres de plus petit calibre

— Les grands arbres coûteux ne sont pas nécessairement plus performants.

Les municipalités plantent à grands frais, et avec raison, de grands arbres surtout dans les emprises municipales, dans les trottoirs et parcs, pour des raisons opérationnelles, de vol, de vandalisme, et de sécurité, par exemple le dégagement des premières branches pour la circulation des personnes et des équipements. Mais d'un strict point de



Figure 1 : Exemples de différents patrons de plantation dans les trottoirs. Patrons traditionnels avec des arbres uniques dans chaque fosse du côté gauche et patrons favorisant des interactions entre les végétaux (arbres, arbustes et herbacées) côté droit de la rue.

vue de la performance (croissance et survie), ces arbres sont beaucoup plus sensibles aux stress et demandent beaucoup plus d'attention les premières années, essentiellement à cause d'un ratio défavorable entre les structures à supporter (entre feuilles / bois et racines) et les ressources disponibles (via les racines) que les petits arbres utilisés par exemple en foresterie et qui ont fait leurs preuves. Plus de 100 millions de ces arbres sont plantés en forêt au Québec chaque année, et aucun d'entre eux n'a jamais été arrosé ni tuteuré. Le coût beaucoup plus important des grands arbres limite aussi les efforts de reboisement en ville, surtout dans le contexte financier difficile que nous vivons. Ainsi, partout où cela est possible, les petits arbres de type forestier (environ 40 cm de hauteur) devraient être envisagés (Ordóñez et Duinker 2015), et même plantés en petits groupes pour en faciliter la gestion et augmenter le taux de survie par effet de facilitation et protection (voir section 3.2.). Par la suite, il sera possible de gérer la densité de ces groupes en éliminant certains arbres, ou si l'endroit s'y prête à laisser le système s'autogérer, créant même du bois mort et une structure verticale plus intéressante (voir plus bas). Le bois mort est en effet de plus en plus reconnu pour sa

grande importance dans les écosystèmes forestiers (Angers 2009), mais évidemment largement éliminé des milieux urbains.

Un compromis entre les grands arbres plantés en parterre (de 200 cm et plus, en motte) et les plants de types forestiers (entre 30 et 50 cm) sont les arbres en pot d'une hauteur de 150 à 200 cm (figure 3b). Ces arbres ont par exemple été employés pour la création de la nouvelle forêt urbaine à Laval et démontrent un excellent taux de survie (figure 2). L'utilisation de ces plants intermédiaires permet d'envisager des économies et d'améliorer la réponse des pépinières à la demande croissante.



Figure 2 : Vue sur la nouvelle forêt urbaine plantée au printemps 2015 en l'honneur du 50e anniversaire de la Ville de Laval. Les arbres et arbustes ont été plantés en pots avec des hauteurs variables (de 40 à 250 cm). Du paillis et des spirales anti-rongeurs ont été installés pour protéger les végétaux pendant les premières années. Crédit photo : Benoit Blanchard.

4.3. Planifier un contrôle de la végétation

— Le plus grand ennemi de l'arbre planté : le gazon
Trop d'arbres sont encore plantés sans gestion de la compétition à cause de l'idée erronée, malheureusement répandue, que les petites plantes comme les herbacées ne peuvent nuire à la croissance des arbres. Ainsi, ces derniers meurent ou survivent en poussant péniblement pendant des années avant d'être enfin libérés de la compétition herbacée. Un phénomène commun qui par ailleurs contribue probablement à l'idée précédente qu'il faille planter de grands arbres, même si ces derniers peuvent également être affaiblis notamment à cause des blessures liées à la tonte de gazon (figure 3a).

Toutefois, une simple gestion adaptée de la compétition permettra généralement une excellente survie et une croissance adéquate dès la première année, et vigoureuse dès la deuxième (ce que les grands arbres nouvellement plantés ne peuvent faire). Un suivi est nécessaire pour éliminer la compétition, celui-ci peut être chimique ou mécanique (p. ex. : utilisation d'une débroussailleuse après avoir au préalable protégé le tronc). Dès la plantation, la pose d'un paillis peut être envisagée. Toutefois, la couche de paillis doit être de taille suffisante (un mètre de rayon), organique (copeaux ou paillis biodégradables, figure 3b) ou de plastique de type agricole, réutilisable. La gestion adéquate de la végétation concurrente dès la plantation et son suivi sont payants à moyen terme puisque l'arbre poussera rapidement, de façon autonome et en santé.



Figure 3 : Blessures du tronc de l'arbre causées par l'utilisation de la débroussailleuse à gauche (a). Arbre (environ 175 cm de haut) suite à sa plantation, entouré de paillis pour contrôler la végétation herbacée à droite (b).

4.4. Pratiquer des tailles de formation

La taille de branches d'un diamètre important est régulièrement observée en milieu urbain. Or ces interventions ont souvent des effets négatifs sur la santé de l'arbre en créant une grande blessure tout en générant des coûts importants pour le propriétaire. L'enlèvement de grosses branches inflige des blessures graves tout en gaspillant des réserves et réduisant la masse foliaire de l'arbre. Un jeune arbre peut subir ces agressions plus facilement et cicatriser plus rapidement sans impact sur sa vigueur et sa stabilité future.

Plus économiques, les interventions en bas âge sont recommandées afin d'augmenter la durée de vie des arbres. Les sommes investies dans la taille de formation permettent de sauver deux à trois fois les coûts d'intervention lorsque l'arbre est mature.

La taille de formation (voir l'annexe B pour des conseils pratiques sur la taille de formation) consiste à intervenir sur la configuration de l'arbre pour établir une structure charpentière solide et la forme désirée. Elle vise également à corriger les défauts de structure, naturels ou non, qui fragilisent les arbres. À l'aide de suivis réguliers et plus fréquents, la taille de formation doit être effectuée dès le jeune âge afin de guider les arbres vers une forme compatible avec leur milieu d'insertion. Elle permet d'anticiper les interventions qui devraient obligatoirement être réalisées pour les contraindre, une fois adultes, aux exigences du site et éviter ainsi des coupes sur des branches plus importantes. Un arbre qui a été formé dès son jeune âge va généralement mieux s'intégrer à son milieu et pour longtemps.



5. COMMENT APPLIQUER L'APPROCHE DE LA DIVERSITÉ FONCTIONNELLE

Une approche fonctionnelle permet d'aller au-delà du simple nombre d'espèces et de mesurer la diversité des caractéristiques biologiques (c'est-à-dire, fonctionnelles, structurales, morphologiques et horticoles – aussi appelées les traits fonctionnels). Cette diversité fonctionnelle est importante, car les traits fonctionnels sont directement liés aux services que les arbres fournissent et à leurs réponses aux stress présents et à venir. Ces traits sont par exemple leur port (lié entre autres à la réaction au verglas et aux vents forts), la vitesse de croissance, le feuillage (résistance aux pathogènes) et divers indices de tolérance. Cette façon de faire permet de mieux quantifier ce qui paraît comme une évidence, par exemple que deux érables (argente et rouge) formeront une communauté moins diversifiée qu'un érable et une épinette (voir aussi encadré 1). Cette quantification est nécessaire à la définition d'objectifs et à la mesure du chemin à parcourir pour les atteindre.

Une analyse de la diversité fonctionnelle demande la connaissance des valeurs quantitatives des traits d'arbres et des analyses spécifiques. Cependant, il y a des façons plus simples d'obtenir un premier portrait relativement fiable de la diversité fonctionnelle. Pour les besoins opérationnels, nous proposons une approche qui a fait ses preuves, celle des « groupes fonctionnels ».

5.1. Les groupes fonctionnels – simples et faciles d'application

Afin d'obtenir des groupes fonctionnels, il s'agit d'abord de constituer des groupes homogènes d'espèces basés sur leurs traits fonctionnels à l'aide de techniques de groupement hiérarchique. En d'autres termes, on regroupe les espèces qui se ressemblent du point de vue strict de leurs traits, et non leur genre ou famille (voir annexe C pour détails). Le nombre de groupes formés est déterminé par l'intervalle des traits, et

jusqu'à un certain point par l'usage que l'on veut en faire.

Un exemple d'un tel regroupement (figure 4) nous montre rapidement que les espèces dominantes dans nos villes aujourd'hui proviennent principalement du même groupe fonctionnel (groupe 1 dans l'exemple). Comme énoncé précédemment, les arbres utilisés abondamment en ville sont généralement semblables du point de vue fonctionnel, même s'ils appartiennent à des familles éloignées. Ainsi cette approche permettra de révéler une sensibilité encore plus grande (et une résilience plus faible) des forêts urbaines dominées par des espèces comme l'érable de Norvège, l'érable argente, et les frênes, se retrouvant généralement dans le même groupe fonctionnel.

5.2. Démarche

I. La première étape de tout effort de reboisement devrait être un inventaire du secteur à reboiser. Pour des endroits où un inventaire n'existe pas encore et peu de ressources sont disponibles pour en effectuer un, une simple promenade dans le secteur peut donner un bon premier aperçu des espèces en place. Pour de meilleurs résultats, l'inventaire (ou les observations) doit porter sur les arbres tant publics que privés afin de rechercher une plus grande complémentarité.

II. À l'aide d'une liste des espèces et leurs groupes fonctionnels², le gestionnaire peut ensuite déterminer la

² Une liste comprenant la plupart des espèces inventoriées dans la grande région montréalaise est mise à votre disposition sur la page web de la Chaire de recherche CRSNG/Hydro-Québec sur le contrôle de la croissance des arbres sous le lien suivant : <http://www.arbresurbains.ugam.ca/fr/guidereboisement/guide.php>. Il est important de consulter cette liste régulièrement, car l'ajout ou la modification d'espèces et traits amènera automatiquement des changements au niveau des groupes fonctionnels.

répartition des arbres présents dans le secteur à reboiser avant de choisir des espèces pour le nouvel aménagement. Il aura toujours le choix entre plusieurs espèces dans chacun des groupes, selon les conditions locales et la disponibilité. Toutefois, il est conseillé de choisir des espèces appartenant à des groupes différents et de donner la priorité à celles moins représentées dans le secteur ainsi qu'à celles non présentes actuellement dans le secteur. De cette façon, la diversité et la résilience de l'aménagement seront augmentées.

Attention, les proportions comptent! Il ne suffit pas de choisir la majorité des espèces dans le même groupe fonctionnel et d'en ajouter une petite quantité provenant des autres groupes. Plus les proportions d'espèces sont réparties également entre les groupes, plus la diversité augmente.

III. Les contraintes importantes quant au choix des espèces sont aussi liées à leur acceptabilité par les citoyens et des critères esthétiques pour lesquels des guides existent (Bassuk et al. 2002) et dont on peut tenir compte. Par exemple sur un tronçon de rue donné, pour éviter les monocultures tout en obtenant un résultat intéressant pour le public, des règles simples peuvent être appliquées comme de marier une espèce dominante avec une codominante et une ou quelques espèces compagnes (à l'image d'un peuplement forestier) (Bassuk et al. 2002), à la condition que ces espèces soient choisies dans des groupes fonctionnels différents et permettent l'atteinte des objectifs de diversité fixés aux échelles spatiales supérieures (le quartier par exemple). Cependant l'éducation du public reste importante, afin d'informer les citoyens des nouvelles espèces disponibles et de l'importance d'élargir la gamme d'espèces plantées, si on souhaite éviter les problèmes que nous connaissons maintenant.

Pour terminer, les recommandations doivent aussi tenir compte de ce qu'il est convenu d'appeler les disservices écosystémiques, à savoir les effets négatifs des arbres en ville (pensons au potentiel allergène par exemple), qui sont bien réels, mais peuvent être diminués en faisant de meilleurs choix. En plus des problèmes de santé (p.ex. allergies), nous pouvons considérer la synchronie des phénologies (p.ex. la chute des feuilles, mais aussi des fleurs et fruits) dans les mélanges sur un secteur donné (p.ex. un tronçon de rue), qui peuvent avoir un impact sur les travaux publics comme le ramassage et la gestion des eaux de pluie.





1	2	3	4
CROISSANCE FAIBLE, TOLÉRANTS À L'OMBRE	CROISSANCE RAPIDE, TOLÉRANTS À L'INONDATION	GRANDES SEMENCES, TOLÉRANTS À LA SÉCHERESSE	CONIFÈRES, TOLÉRANTS À L'OMBRE
<i>Acer platanoides</i> <i>Acer saccharinum</i> <i>Acer rubrum</i> <i>Betula alleghaniensis</i> <i>Catalpa ovata</i> <i>Celtis occidentalis</i> <i>Fraxinus pennsylvanica</i> <i>Syringa reticulata</i> <i>Tilia cordata</i> <i>Ulmus americana</i> ...	<i>Betula papyrifera</i> <i>Larix decidua</i> <i>Larix laricina</i> <i>Populus deltoides</i> <i>Populus balsamea</i> <i>Salix alba</i> ...	<i>Aesculus glabra</i> <i>Carya ovata</i> <i>Crataegus crus-galli</i> <i>Ginkgo biloba</i> <i>Gleditsia triacanthos</i> <i>Gymnocladus dioicus</i> <i>Juglans nigra</i> <i>Quercus coccinea</i> <i>Quercus macrocarpa</i> <i>Quercus rubra</i> ...	<i>Picea glauca</i> <i>Picea pungens</i> <i>Thuja occidentalis</i> <i>Pinus strobus</i> <i>Pinus mugo</i> ...
			

Figure 4 : Exemple d'un regroupement d'espèces par groupe fonctionnel. Voir la liste complète des espèces, <http://www.arbresurbains.uqam.ca/fr/guidereboisement/guide.php>. La liste sert à classer les espèces présentes dans une zone et à sélectionner celles à reboiser.

6. CONCLUSION

En complément de guides de plantations existants, le présent guide présente différentes techniques, conseils et une approche innovatrice afin d'obtenir, à terme, une forêt en meilleure santé et mieux outillée pour absorber et récupérer suite aux stress provoqués par les changements globaux. Il s'agit de se doter d'une vision à long terme et de miser sur la diversité pour une plus grande résilience et ainsi éviter les pièges d'une gestion de réaction en temps de crise.

Il faut profiter de la conjoncture que provoque l'agrile du frêne et de la volonté d'augmentation de canopée, pour augmenter la résilience et faire un pas en avant vers l'amélioration de la gestion des forêts urbaines.

La clé pour obtenir une forêt urbaine en santé et résiliente se résume ainsi :

- Le bon arbre au bon endroit;
- De la diversité horizontale, verticale et génétique;
- Un suivi et un entretien adéquat.



7. BIBLIOGRAPHIE

- Alexander C, DePratto B. 2014. La valeur des forêts urbaines au Canada. Services économiques TD.
- Angers V-A. 2009. L'enjeu écologique du bois mort – Complément au Guide pour la description des principaux enjeux écologiques dans les plans régionaux de développement intégré des ressources et du territoire. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts, Québec.
- AQPP. 2014. Répertoire des arbres recommandés en milieu urbain. Association québécoise des producteurs en pépinière.
- Bassuk NL, Trowbridge P, Grohs C. 2002. Visual similarity and biological diversity: street tree selection and design. Paper presented at the European Conference of the International Society of Arboriculture, Oslo.
- CMM – Communauté Métropolitaine de Montréal (2011) Un Grand Montréal attractif, compétitif et durable. Plan métropolitain d'aménagement et de développement. URL: http://pmad.ca/fileadmin/user_upload/pmad2012/documentation/20120530_PMAD.pdf.
- Donovan GH, Butry DT, Michael YL, Prestemon JP, Liebhold AM, Gatzliolis D, Mao MY. 2013. The Relationship Between Trees and Human Health. *American Journal of Preventive Medicine* 44: 139-45.
- Johnston M. 2015. *Trees in Towns and Cities: A History of British Urban Arboriculture*. Windgather Press. London.
- Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbati A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolström M, Lexer MJ, Marchetti M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259 : 698-709.
- Nock CA, Paquette A, Follett M, Nowak DJ, Messier C. 2013. Effects of urbanization on tree species functional diversity in eastern North America. *Ecosystems* 16 : 1487-97.
- Ordóñez C, Duinker PN. 2015. Climate change vulnerability assessment of the urban forest in three Canadian cities. *Climatic Change* : 1-13.
- Paquette A, Messier C. 2011. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Global Ecology & Biogeography* 20 : 170-80.
- Rayfield, B, Dupras, J, Francoeur X, Dumitru M, Dagenais D, Vachon J, Paquette A, Lechowicz M, Messier C, Gonzalez A. 2015. Les Infrastructures Vertes: Un outil d'adaptation aux changements climatiques pour le Grand Montréal. (<http://www.davidsuzuki.org/fr/publications/rapports/2015>), consulté en décembre 2015
- RNCREQ – Regroupement national des conseils régionaux de l'environnement. 2015. Faire face aux changements climatiques à Montréal (<http://www.rncreq.org/projets/adaptation.html>), consulté en août 2015.
- Santamour FSJ. 1990. Trees for urban planting: Diversity, uniformity, and common sense.
- Sydnor T.D , Subburayalu S K. 2011. Should We Consider Expected Environmental Benefits When Planting Larger or Smaller Tree Species? *Arboriculture & Urban Forestry* 37(4): 167–172.
- Tobner CM, Paquette A, Reich PB, Gravel D, Messier C. 2014. Advancing biodiversity – ecosystem functioning science with the use of high-density tree-based experiments. *Oecologia* 174 : 609-21.

ANNEXE A – Cartes de priorisation

Afin de déterminer des zones prioritaires de protection et de reboisement, une équipe de chercheurs a réalisé une étude autour des infrastructures vertes du Grand Montréal (Rayfield et al. 2015).

Les deux objectifs à des fins d'identification des zones prioritaires sont :

- 1) la protection de la biodiversité;
- 2) la réduction des îlots de chaleurs.

En se basant sur 14 espèces représentatives des écosystèmes de la CMM et des indices de température, les zones en matière de protection du territoire et de reboisement selon cette étude comprennent de grandes parcelles forestières des rives nord et sud de la CMM (figure A1).

En fait, un nombre important de zones prioritaires de protection est concentré dans les très petites parcelles de forêt dans les grandes zones urbaines, en particulier celles des îles de Montréal et Laval, à Longueuil et à Boucherville. Beaucoup de ces petites parcelles en milieu urbain ressortent en raison de leur contribution à la réduction des effets des îlots de chaleur urbains. Dans les agroécosystèmes de la CMM, sur les rives nord et sud, la haute priorité de conservation est motivée par la protection de la biodiversité. Leur contribution au réseau est donc davantage liée à leur importance pour la connectivité que pour la lutte aux îlots de chaleur.

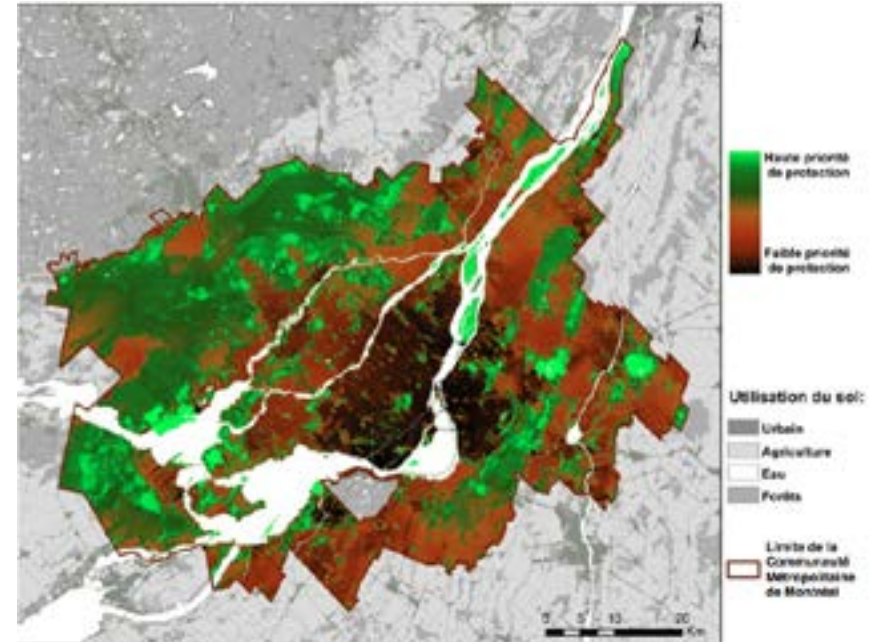


Figure A1 : Carte des priorités de conservation pour le scénario biodiversité et fraîcheur. Chaque pixel dans le paysage est classé en fonction de sa priorité de conservation dérivée de la connectivité, de la qualité de l'habitat, de l'adaptabilité climatique des 14 espèces analysées, ainsi que pour son rôle dans la réduction des îlots de chaleur. Source : Rayfield et al. 2015.

ANNEXE B – Références et autres ressources pratiques

Projets inspirants de reboisement municipal

- Laval : Nouvelle forêt urbaine
 - Établissement de 5 écosystèmes forestiers sur plus de 3 ha afin de souligner le 50e anniversaire de la Ville de Laval.
 - Les écosystèmes représentés sont : érablière à caryer, érablière à tilleul et bouleau jaune, chênaie rouge à pins blanc et rouge, forêt mixte et forêt résineuse.
 - Au total, plus de 16 000 arbres et arbustes ont été plantés au Centre de la nature à Laval (figure B1).
 - <http://www.laval.ca/Pages/Fr/Activites/semaine-de-la-terre.aspx>.



Figure B1 : La forêt du 50e anniversaire de la Ville de Laval, au Centre de la nature. Photo prise en juillet 2015, deux mois après la plantation.

- Saint Lambert : Vente municipale annuelle d'arbres
 - Suite à un inventaire des arbres municipaux, les espèces les moins représentées sur le terrain ont été choisies à des fins de vente à bas prix de ces espèces auprès des citoyens.
 - Les essences sélectionnées devaient être sous représentées sur le territoire de la ville, c'est-à-dire couvrir moins de 2 % de la forêt urbaine.
 - Voici le lien pour la liste d'espèces disponibles : <http://www.saint-lambert.ca/fr/medias/vente-darbres-et-de-composteurs>
- Arrondissement Ahuntsic-Cartierville : Projet de Sensibilisation à la biodiversité IDENT-Cité
 - Le projet consiste en une plantation d'une cinquantaine d'arbres (avec des arbustes et herbacées), plantés sur un parcours en double spirale grâce auquel les visiteurs pourront vivre directement la biodiversité.
 - On y trouve différentes variétés de feuillus et de conifères; les espèces sont de plus en plus diversifiées à mesure qu'on se déplace vers le centre de la spirale, pour redevenir de plus en plus semblables sur la deuxième moitié du parcours.
 - Le projet se trouve au Parc Stanley à l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville, Montréal et est élaboré en collaboration avec l'UQAM (figure A2).
 - <http://www.cremtl.qc.ca/actualites/2015/projet-ident-cite-une-spirale-biodiversite>.



Infographie : A. Jaccard

Figure B2 : Représentation de la spirale de biodiversité du projet IDENT-cité à l'arrondissement Ahuntsic-Cartierville.

Guides opérationnels sur la plantation d'arbres et la taille de formation :

- Repentigny - Guide du citoyen – méthodes et suivis de plantation d'arbres : http://ville.repentigny.qc.ca/getmedia/d813855d-165e-400f-b35b-513a11f34414/guide-du-citoyen-_plantation.pdf.aspx?ext=.pdf
- Saint Lambert : Guide municipal du choix d'arbres à planter : http://www.saint-lambert.ca/sites/default/files/guide_municipal_du_choix_darbres_a_planter.pdf
- Espace pour la Vie : Étapes de plantation : <http://espacepourlavie.ca/etapes-de-plantation>
- Arbres Canada : Un guide de plantation d'arbres : <https://treecanada.ca/fr/ressources/publications/un-guide-de-plantation-darbres/>
- ICLEI—Local Governments for Sustainability : Un guide de l'aménagement et planification de biodiversité municipale (en anglais) : <http://www.icleicanada.org/ressources/item/221-biodivercities-a-handbook-for-municipal-biodiversity-planning-and-management>.
- La taille des arbres feuillus :
 - Espace pour la Vie : <http://espacepourlavie.ca/taille-des-arbres-feuillus>
 - Agence forestière de la Montérégie : http://www.afm.qc.ca/AFM_MEDIA/Fiche%206.pdf
 - Société internationale d'arboriculture Québec inc. : http://www.siaq.org/_fascicules/taille_jeunes_arbres.pdf
 - Dr. Ed Gilman, Envir. Hort. Dept., Univ. of Florida : <http://hort.ifas.ufl.edu/woody/pruning.shtml>

ANNEXE C – LA CRÉATION DES GROUPES FONCTIONNELS

Pour bien comprendre l'approche fonctionnelle, nous allons présenter dans ce qui suit un exemple d'analyse pour former des groupes fonctionnels. Dans une première étape, les valeurs quantitatives pour les traits et espèces choisis doivent être assemblées. Dans notre exemple, nous présentons huit traits fonctionnels de sept espèces souvent retrouvées en milieu urbain (Tableau C1). À noter que, les traits utilisés aux fins de l'exercice sont incomplets, et potentiellement non pertinents en milieu urbain, ou du moins ils n'incluent peut-être pas les traits les plus importants. Ils ont en revanche fait leurs preuves en milieu naturel et en expérience contrôlées (Tobner et al. 2014, Paquette et Messier 2011). Ce travail doit être complété.

Dans une prochaine étape, une analyse de regroupement est effectuée. Cette analyse regroupe les espèces selon les similitudes (ou différences) des traits des espèces et résulte en une figure similaire à celle d'un arbre phylogénétique (figure C4). À partir de ces résultats, nous avons ensuite visuellement formé trois groupes, des groupes fonctionnels. En consultant les traits fonctionnels du Tableau C1, il est facile de valider cette analyse : les espèces groupées forment effectivement des ensembles similaires.

Tableau C1 – Espèces utilisées pour l'exemple de calcul et valeurs de leurs traits fonctionnels

Code	Nom scientifique	Nom commun	DensB	ToO	ToS	ToI	LMA	N	Sem	GF
ACPL	<i>Acer platanoides</i>	Érable de Norvège	0.53	4.2	2.7	1.5	1.70	1.99	2.15	1
ACRU	<i>Acer rubrum</i>	Érable rouge	0.49	3.4	1.8	3.1	1.85	1.91	1.44	1
ACSI	<i>Acer saccharinum</i>	Érable argenté	0.44	3.6	2.9	3.4	1.84	2,00	2.31	1
BEPA	<i>Betula papyrifera</i>	Bouleau blanc	0.48	1.5	2,0	1.3	1.89	2.31	0.15	2
PIGL	<i>Picea glauca</i>	Épinette blanche	0.35	4.2	2.9	1,0	2.48	1.28	0.53	3
PIST	<i>Pinus strobus</i>	Pin blanc	0.36	3.2	2.3	1,0	2.09	1.42	1.26	3
QURU	<i>Quercus rubra</i>	Chêne rouge	0.56	2.8	2.9	1.1	1.93	2.06	3.50	1

Notes : DensB : densité du bois; ToO, S et I : tolérances à l'ombre, à la sécheresse et à l'inondation; N : contenu en azote des feuilles (log); Sem : taille (masse) des semences (log); GF : groupe fonctionnel auquel a été attribuée l'espèce (figure C1).

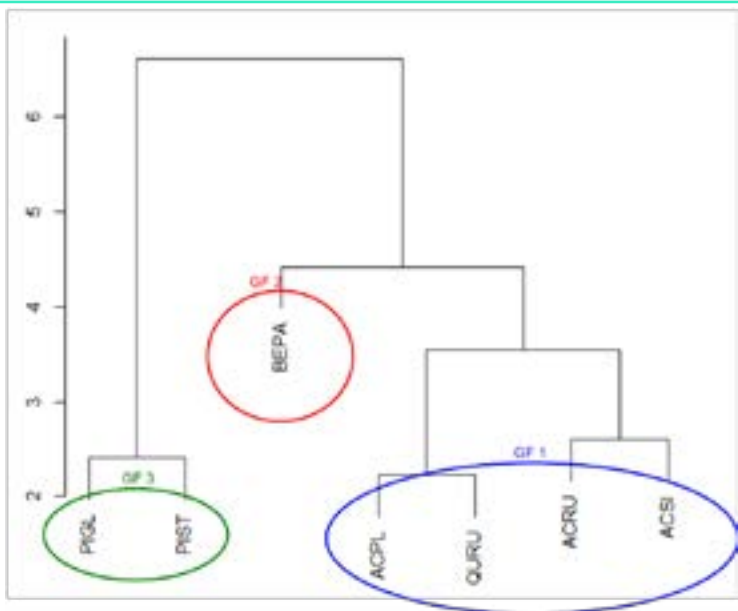


Figure C1 : Schéma de l'analyse de regroupement représentant 7 espèces. Les espèces sont regroupées selon la similarité de leurs caractéristiques biologiques, leurs traits (voir tableau C1 pour les détails). Le premier groupe (bleu) comprend les 3 érables et le chêne rouge, le deuxième (rouge) est constitué du bouleau blanc et le troisième (vert) comprend les deux conifères.



REPENSER LE REBOISEMENT

Sous la direction du

**JOUR
DE LA
TERRE
• QUEBEC**

En collaboration avec le comité
reboisement de la **Communauté
métropolitaine de Montréal**