

Institut

EDS

Institut Hydro-Québec en environnement  
développement et société  
de l'Université Laval

# LES CAHIERS DE L'Institut EDS

Série Stratégies du développement durable  
Numéro 1, février 2010

## La contribution potentielle de la forêt urbaine au développement durable des villes du Québec

Note de synthèse sous la  
direction d'Alain Olivier

**Mariève Lafontaine-Messier**

Candidate à la maîtrise en  
agroforesterie, Département de  
phytologie, Université Laval, Québec

**Alain Olivier**

Membre régulier de l'Institut EDS  
Département de phytologie  
Université Laval, Québec

**Bruno Chicoine**

Chargé de projet  
Arbres Canada, Ottawa



UNIVERSITÉ  
LAVAL

# Institut EDS

Institut Hydro-Québec en environnement,  
développement et société  
de l'Université Laval

## L'Institut EDS

L'Institut EDS (Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société) regroupe des membres de la communauté universitaire, provenant aussi bien de sciences sociales que de sciences dures ou appliquées, qui partagent un intérêt commun pour la recherche et la formation en environnement, développement et société.

Le mandat de l'Institut est de soutenir la recherche pluridisciplinaire et les synergies entre spécialistes, et de promouvoir une vision d'ensemble sur les questions d'environnement dans la société. L'Institut réalise ou facilite des activités visant l'approfondissement et la diffusion des connaissances, dans le domaine de l'environnement et du développement durable. Afin de faciliter l'atteinte de ces objectifs, la structure se veut souple, rassembleuse et ouverte.

## La recherche à l'Institut EDS

Les recherches menées à l'Institut s'articulent autour de quatre thématiques : 1) Atténuation, vulnérabilités et adaptation aux changements climatiques; 2) Dynamique et gouvernance de la biodiversité; 3) Disponibilité et gestion des ressources hydriques; et 4) Stratégies du développement durable. Ces thématiques s'inscrivent dans les champs d'activités prioritaires en environnement et développement durable identifiés dans le plan de développement de la recherche 2006-2010 de l'Université Laval, institution d'attache de l'Institut EDS.

Les *Cahiers de l'Institut EDS* publient quatre séries consacrées spécifiquement à chacune de ces thématiques et rendent compte des résultats des recherches des membres de l'Institut, notamment celles développées dans le cadre des projets qu'il finance.

Site Internet : [www.ihqeds.ulaval.ca](http://www.ihqeds.ulaval.ca)

## Coordonnées de l'Institut EDS

Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société  
2440, Pavillon des Services, boul. Hochelaga, local 3800

Université Laval, Québec, G1V 0A6

Téléphone : (418) 656-2723

Télécopieur : (418) 656-7330

Courriel : [ihqeds@ihqeds.ulaval.ca](mailto:ihqeds@ihqeds.ulaval.ca)

**Concept et mise en page :** Ariane Gagnon-Légaré



### Mariève Lafontaine-Messier

Mariève Lafontaine-Messier, candidate à la maîtrise en agroforesterie à l'Université Laval, détient un baccalauréat en agronomie et un diplôme d'études supérieures spécialisées en développement rural intégré de la même Université. Son grand intérêt pour la foresterie urbaine s'est développé à Montréal, où elle a développé un volet de verdissement urbain pour l'organisme Vrac Environnement. En 2009, elle a œuvré à la promotion de la foresterie urbaine au niveau international, grâce à un stage au département des forêts de l'Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO). Dans le cadre de ses études de maîtrise, elle s'intéresse à une nouvelle approche en foresterie urbaine, celle de la plantation d'arbres fruitiers dans les espaces publics urbains en tant que stratégie de lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté, dans un bidonville situé en périphérie de la ville de Lima, au Pérou.



### Alain Olivier

Alain Olivier (B.Sc. agronomie, Ph.D. biologie végétale) est professeur en agroforesterie à la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval depuis 1995. À ce titre, il est responsable de divers cours et stages dispensés dans le cadre de la maîtrise (M.Sc.) en agroforesterie et du baccalauréat (B.Sc.) en agronomie de l'Université Laval. Ses intérêts de recherche concernent principalement les contraintes à l'adoption de systèmes agroforestiers au Sahel et l'intégration de l'arbre en milieu agricole au Québec. Depuis 2004, il est le directeur du Groupe interdisciplinaire de recherche en agroforesterie (GIRAF), qui intervient aussi bien en zones tropicales et subtropicales que tempérées.



### Bruno Chicoine

Bruno Chicoine est diplômé du baccalauréat et de la maîtrise en sciences forestières de l'Université de Moncton. Il a travaillé à implanter un programme de foresterie urbaine pour la municipalité de Dieppe, au Nouveau-Brunswick, en 2004 et en 2007, et a reçu une bourse du ministère des Relations internationales du gouvernement du Québec pour effectuer un stage au sein de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), où il a participé à la promotion de la foresterie urbaine auprès des pays en développement. Il est maintenant chargé de projets pour Arbres Canada et veille au déroulement des programmes de foresterie urbaine à partir du siège social de l'organisme, à Ottawa.

#### Pour joindre les auteurs:

#### Mariève Lafontaine-Messier et Alain Olivier

Bureau : Département de phytologie  
Pavillon Paul-Comtois, local 3309  
Université Laval, Québec, Canada, G1V 0A6  
Téléphone : (418) 656-2131, poste 3601  
Télécopieur : (418) 656-7856  
Courriels : marieve.lafontaine-m.1@ulaval.ca;  
alain.olivier@fsaa.ulaval.ca

#### Bruno Chicoine

Bureau : Arbres Canada  
402 - 222 Somerset Ouest,  
Ottawa, ON, K2P 2G3  
Téléphone : (613) 567-5545, poste 225  
Télécopieur : (613) 567-5270  
Courriel : Bruno@TreeCanada.ca

## Résumé

Les villes sont le résultat d'importantes transformations de l'environnement naturel afin de l'adapter aux besoins des populations humaines. Cependant, ces transformations et leur intensification entraînent de graves problèmes environnementaux et sociaux auxquels il importe d'accorder une attention particulière afin d'assurer le développement durable des aires urbaines. Parmi les stratégies pouvant apporter une contribution à la résolution de ces problèmes, la foresterie urbaine suscite de plus en plus d'intérêt. La présente note de synthèse met en lumière les résultats les plus récents issus de travaux de recherche scientifique portant sur les services environnementaux et sociaux offerts par la forêt urbaine, afin d'évaluer la rentabilité des ressources investies pour le développement et l'entretien d'un couvert forestier urbain. Ces résultats démontrent clairement que la présence d'arbres dans les villes peut avoir un impact significatif sur l'environnement en réduisant la chaleur urbaine, en captant les polluants atmosphériques et en limitant le ruissellement de l'eau. Les analyses économiques réalisées font généralement état de ratios bénéfiques : coûts positifs, notamment parce que les habitants des villes sont prêts à payer pour le maintien d'arbres dans leur environnement immédiat. Les programmes de gestion de la forêt urbaine seraient donc rentables à long terme, en dépit de coûts de plantation et d'entretien élevés. La présence de végétaux a aussi de nombreux impacts bénéfiques sur la santé physique et psychologique des résidents d'une ville. Enfin, la forêt urbaine pourrait aider à atténuer les impacts négatifs des changements climatiques, en particulier les épisodes de chaleur extrême et les pluies torrentielles. Néanmoins, la foresterie urbaine ne peut, à elle seule, régler tous les problèmes environnementaux et sociaux des villes. Des stratégies globales et intégrées, où la foresterie urbaine pourrait jouer un rôle majeur, doivent donc être mises en place.

## Abstract

Cities are the result of impressive modifications of the natural environment in order to adapt it to the needs of human populations. However, these transformations and their intensification lead to severe environmental and social problems that must be addressed in order to ensure a sustainable development of urban areas. Urban forestry has been proposed as a way to overcome these problems. This review presents the most recent results from scientific literature related to urban forestry. It analyzes the environmental and social benefits provided by trees in urban areas, with the objective of evaluating the profitability, for municipalities, of investing resources in the development and management of urban tree cover. Results clearly show that trees can have a significant impact on an urban environment by combating heat islands, capturing air contaminants and reducing water runoff. Economic analyses consistently give positive benefit: cost ratios, especially because urban populations are willing to pay for the preservation of trees in their environment. Thus, urban forest management programs would be profitable in the long term, in spite of high initial planting and maintenance costs. The presence of trees in urban areas also brings many physical and psychological health benefits to their inhabitants. Moreover, urban forests would help to mitigate the negative impacts of climate changes, especially extreme heat waves and severe rains. However, it is clear that urban forests alone cannot resolve the severe environmental and social problems observed in cities. In order to address these problems, global and integrated strategies, in which urban forestry could play a major role, must be developed.

## Table des matières

Résumé—4

Abstract—4

Introduction—6

1<sup>re</sup> partie : Les conséquences du développement urbain—6

La chaleur urbaine —7

La qualité de l'air—8

Le ruissellement des eaux—8

Les impacts sociaux du développement urbain—10

2<sup>e</sup> partie : Les arbres en milieu urbain comme stratégie de développement durable—10

Forêt urbaine et environnement—11

La chaleur urbaine—11

La qualité de l'air—12

*La capture des polluants atmosphériques—12*

*Le relâchement de composés organiques volatiles (COV)—13*

La gestion de l'eau—13

Forêt urbaine et économie—15

L'augmentation de la valeur des propriétés—15

La décontamination de l'air—16

La réduction de la consommation énergétique—17

La réduction du volume des eaux de ruissellement—17

Les coûts associés à la forêt urbaine—17

La rentabilité et la viabilité de la forêt urbaine—18

Forêt urbaine et société—18

Les bénéfices sociaux de la forêt urbaine —18

La valeur accordée à la forêt urbaine par les habitants des villes—20

3<sup>e</sup> partie : Foresterie urbaine et changements climatiques—20

Les prévisions—20

La forêt urbaine pour atténuer les impacts négatifs des changements climatiques—21

La forêt urbaine comme outil de lutte contre l'effet de serre—21

Les impacts des changements climatiques sur la forêt urbaine—22

Conclusion—22

Les besoins en recherche—23

Remerciements—23

Bibliographie—24

## La contribution potentielle de la forêt urbaine au développement durable des villes du Québec

### Introduction

Lorsqu'on observe une ville depuis le ciel, on ne peut que constater l'ampleur des transformations qu'a subi l'environnement naturel pour l'adapter aux besoins de l'être humain. Au cours des cent dernières années, la proportion de la population de la planète qui habite dans les villes n'a cessé de croître. Plus de la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui dans des cités aux dimensions toujours plus importantes (Moreno *et al.*, 2008). Au Canada, on estime que plus de 80% de la population réside en milieu urbain (United Nations, 2008).

Bien que la ville transforme profondément le milieu naturel, son fonctionnement n'en demeure pas moins entièrement dépendant de ce milieu. Les nombreux problèmes environnementaux et sociaux qui y sont observés menacent donc l'équilibre et la durabilité de son développement. Parmi les stratégies envisagées pour trouver des solutions à ces problèmes, la foresterie urbaine attire de plus en plus l'attention des décideurs politiques. Par foresterie urbaine, on entend ici toute activité liée à la plantation et à l'entretien d'arbres situés à l'intérieur des limites des villes.

Si l'on convient généralement que la forêt urbaine peut apporter une contribution significative au

développement durable des villes, l'ampleur véritable de cette contribution est souvent mal comprise. La présente note de synthèse vise à évaluer la capacité de la foresterie urbaine à réduire l'ampleur de certains problèmes environnementaux et sociaux créés par l'urbanisation. Les coûts et les bénéfices des arbres en milieu urbain y seront analysés, de façon à déterminer la pertinence et la rentabilité des investissements nécessaires pour assurer la gestion et le développement de la forêt urbaine. Enfin, la capacité de la forêt urbaine à atténuer les impacts négatifs prévus des changements climatiques sera brièvement évaluée.

### 1<sup>re</sup> partie : Les conséquences du développement urbain

Les villes contiennent ordre et chaos. En elles résident la beauté et la laideur, la vertu et le vice.

— Moreno *et al.*, 2008

L'établissement d'une ville entraîne inévitablement la perte de la végétation originelle. Au fil du développement des zones habitées, une superficie de plus en plus importante de la forêt naturelle est déboisée au profit du cadre bâti. Parallèlement, très

peu de parcs et d'espaces verts sont créés en raison de la concurrence qui existe entre les différents usages des terrains. Des conditions peu favorables à la croissance des arbres entraînent par ailleurs le

dépérissement d'un grand nombre d'entre eux. Par conséquent, les villes ressemblent le plus souvent à des îlots de surfaces minéralisées, ce qui entraîne divers

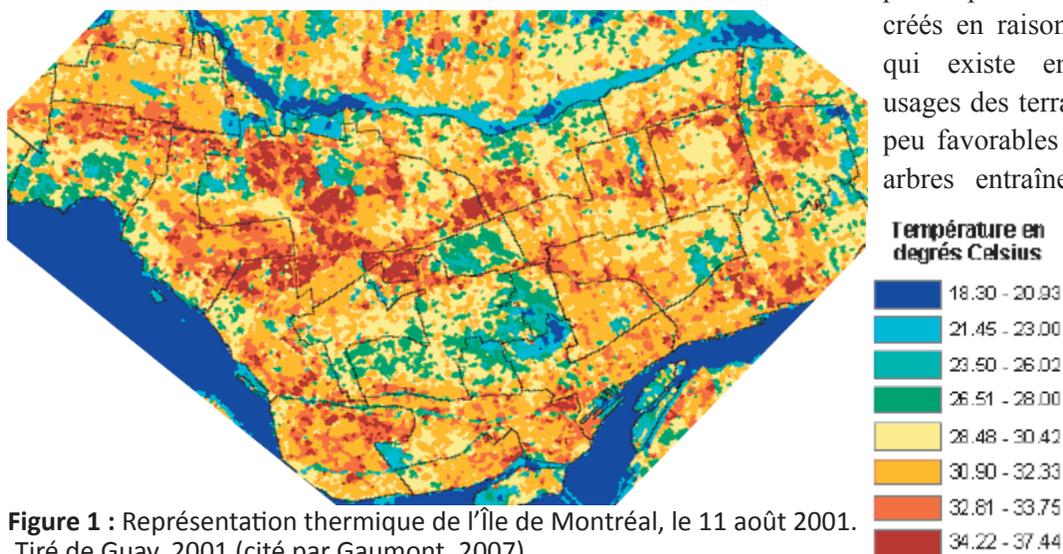
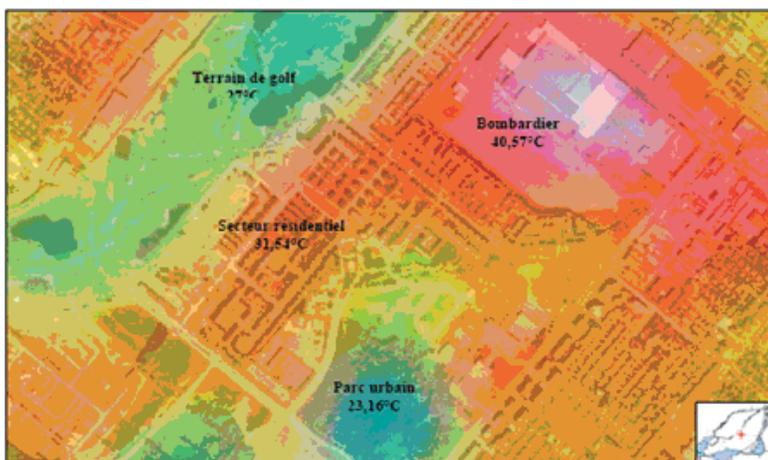


Figure 1 : Représentation thermique de l'île de Montréal, le 11 août 2001. Tiré de Guay, 2001 (cité par Gaumont, 2007).



**Figure 2 :** îlots de chaleur dans l'arrondissement Saint-Laurent, à Montréal, le 27 juin 2005. Tiré de Martin, 2007 (cité par Cavayas et Beaudoin, 2008).

problèmes environnementaux. Parmi ceux-ci, on peut noter l'augmentation de la température urbaine, la diminution de la qualité de l'air et les problèmes liés au ruissellement de l'eau.

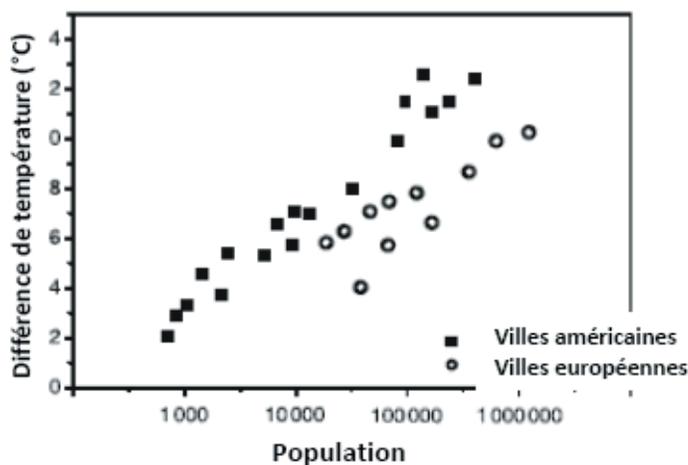
### La chaleur urbaine

L'étalement urbain et la circulation automobile qui s'ensuit, la densification du cadre bâti, la minéralisation des surfaces et l'intensification des activités productives, notamment industrielles, entraînent une élévation de la température urbaine (Yannas, 2001; Georgi et Zafiriadis, 2006; Hardin et Jensen, 2007; Mochida et Lun, 2008). Les différentes infrastructures de béton, de ciment et d'asphalte absorbent l'énergie

provenant des radiations solaires et des activités urbaines quotidiennes de façon très efficace (Barry et Chorley, 2003; Huang *et al.*, 2008; Kolokotroni et Giridharan, 2008), puis la relâchent, durant la nuit, sous forme de chaleur, empêchant le refroidissement normal de l'air (Yannas, 2001).

On rapporte généralement que les écarts de température entre les zones fortement minéralisées et les espaces comportant des végétaux (parcs, boisés urbains, terrains gazonnés) situés à proximité varient entre 5 et 12 °C (McPherson, 2005; Sieghardt *et al.*, 2005; Watkins *et al.*, 2002, cités par Kolokotroni

et Giridharan, 2008; Hardin et Jensen, 2007). L'importance de l'écart observé dépend notamment de la densité du couvert végétal, de l'échelle de comparaison (Dimoudi et Nikolopoulou, 2003) et de la dimension de la ville (Sieghardt *et al.*, 2005). Il est particulièrement important en période de canicule (Vergriete et Labrecque, 2007). On a donné à ce phénomène d'augmentation de la chaleur dans les zones minéralisées, considéré comme un des problèmes environnementaux les plus importants des villes, le nom d'îlot de chaleur urbain (Mochida et Lun, 2008). Les figures qui suivent permettent d'observer l'existence d'îlots de chaleur sur l'Île de Montréal (Figure 1), ainsi que dans un secteur de l'arrondissement Saint-Laurent, à Montréal (Figure 2), ce qui permet de réaliser l'aspect localisé du phénomène. Sur les deux cartes, on note une distinction marquée entre des secteurs fortement boisés, en vert et turquoise, et des secteurs au cadre bâti particulièrement dense, en rouge.



**Figure 3 :** Différence de température maximale entre le milieu urbain et le milieu rural pour des villes de diverses dimensions, aux États-Unis et en Europe. Tiré de Sieghardt *et al.*, 2005.

L'ampleur de la hausse de température est influencée par divers facteurs, dont la densité de la population (Figure 3) et du cadre bâti (Figure 4) et la disposition des édifices, qui peuvent bloquer le vent ou, au contraire, le favoriser (Sather, 2004; Sieghardt *et al.*, 2005; King et Davis, 2007).

Lorsqu'elle est très élevée, la chaleur urbaine entraîne pour la population un inconfort et parfois même de graves problèmes de santé, tels

que des coups de chaleurs et des problèmes cardiaques (Luber et McGeehin, 2008; Johnson et Wilson, 2009). Ainsi, la vague de chaleur qui s'est abattue sur le Québec du 14 au 18 août 2009 a officiellement entraîné quatre décès (Centre de ressources en impacts et adaptation au climat et à ses changements, 2009). Il convient par ailleurs de mentionner qu'en raison de certaines réactions photochimiques, un accroissement de 1 à 3 °C de la température ambiante peut entraîner une augmentation de 11 à 33 % de la teneur en divers polluants atmosphériques (Narumi *et al.*, 2009), lesquels ont également un impact négatif sur la santé humaine, comme on le verra dans la section qui suit.

### La qualité de l'air

Le milieu urbain est le théâtre d'une multitude d'activités qui génèrent une grande production de polluants atmosphériques, dont les plus importants sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>), de même que les poussières et autres particules en suspension (PM<sub>2,5</sub> ou 10) responsables de la formation de smog (Sieghardt *et al.*, 2005).

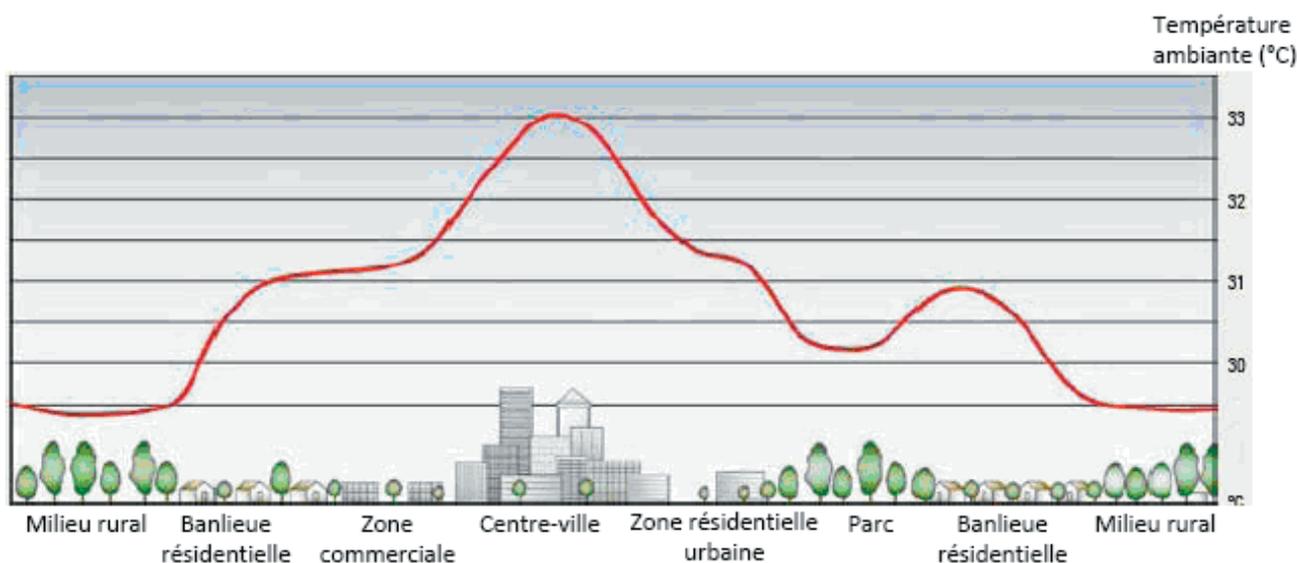
Cette pollution atmosphérique provoque de graves maladies respiratoires et vasculaires, de même que le développement de certains cancers (Beckett *et al.*, 2000; Bouchard et Smargiasi, 2008; Tiwary *et al.*, 2009; Yang et Omaye, 2009). Selon une estimation

jugée conservatrice de l'Institut national de santé publique du Québec, 1 974 (+/- 467) décès prématurés auraient été causés par l'exposition aux divers types de particules en suspension (PM<sub>2,5</sub>), à l'ozone (O<sub>3</sub>) et au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) en 2002, au Québec (Tableau 1), ce qui représente 7 % de la mortalité totale (Bouchard et Smargiasi, 2008). Dans un même ordre d'idées, Burnett *et al.* (2004) ont observé un lien significatif entre les variations quotidiennes de concentration de NO<sub>2</sub> et les fluctuations des taux de mortalité dans les 12 principales villes du Canada, dont Québec et Montréal, entre 1980 et 1999. Dans certaines villes européennes, plus de décès seraient attribuables aux effets de la pollution urbaine qu'aux accidents de voiture (WHO, 1999, cité par Beckett *et al.*, 2000).

### Le ruissellement des eaux

En recouvrant le sol de surfaces minéralisées, la construction de divers types d'infrastructures urbaines provoque son imperméabilisation, empêchant l'eau de pluie et de fonte des neiges d'y pénétrer et augmentant le ruissellement de surface (Figure 5).

Au Québec, l'eau de ruissellement est le plus souvent acheminée aux stations d'épuration puisque la majeure partie des réseaux d'égouts y est de type unitaire et reçoit donc dans le même système les eaux usées et les eaux de pluie (Mailhot *et al.*, 2008). L'important volume d'eau reçu par



**Figure 4** : Variation de température en fonction du couvert forestier et de la densité du cadre bâti, dans une ville et à sa périphérie. Tiré de Butera, 2008 (cité par Moreno *et al.*, 2008).

Tableau 1 : Décès prématurés à la suite de l'exposition à l'ozone et au NO<sub>2</sub> dans différentes agglomérations urbaines du Québec, en 2002.

Villes*	Population totale	Décès prématurés (écart-type)		
		Mortalité aiguë Exposition à l'ozone	Mortalité aiguë Exposition au NO <sub>2</sub>	Mortalité chronique Exposition aux PM <sub>2,5</sub>
Grande région de Montréal				
- Champlain (DR)	312 635	20 (3)	21 (7)	ND
- L'Assomption (DR)	103 950	5 (0,7)	ND	21 (5)
- Laval (DR)	343 505	20 (3)	28 (9)	ND
- Communauté urbaine de Montréal (DR)	1 817 040	112 (18)	228 (76)	909 (207)
Saguenay	155 305	3 (0,5)	ND	33 (7)
Québec	684 650	45 (7)	58 (19)	237 (54)
Trois-Rivières	137 990	9 (2)	7 (2)	57 (13)
St-Jean-sur-Richelieu	79 725	7 (1)	3 (1)	22 (5)
Communauté urbaine de l'Outaouais	226 620	10 (2)	10 (3)	ND

\*DR : division de recensement ; ND : non disponible.  
Source: tiré de Bouchard et Smargiasi, 2008.

les stations d'épuration (Figure 6) entraîne pour les municipalités des coûts de traitement élevés (Purenne, 2007; Ville de Montréal, 2009). À cela s'ajoutent les coûts de l'infrastructure elle-même, notamment ceux des bassins de rétention d'eau.

Lorsque les précipitations sont particulièrement importantes, la quantité d'eau reçue dépasse parfois la capacité de captage et de rétention du réseau d'égout (Mailhot *et al.*, 2008), provoquant des débordements dont les impacts peuvent être considérables (Purenne, 2007). Les eaux qui ruissellent sont aussi considérées comme l'une des principales causes de la pollution des aquifères puisqu'elles accumulent lors de leur passage sur les surfaces minéralisées quantité de polluants (Arnold et Gibbons, 1996; Wu *et al.*, 1998; Xiao *et al.*, 1998; Bradford et Gharabaghi, 2004; Labrecque et Vergriete, 2006; McPherson *et al.*, 2007). Newell *et al.* (1991, cités par Characklis et Wiesner, 1997) ont estimé que 40 % des particules solides acheminées dans la baie de Galveston, au Texas, provenaient de la région métropolitaine de Houston.

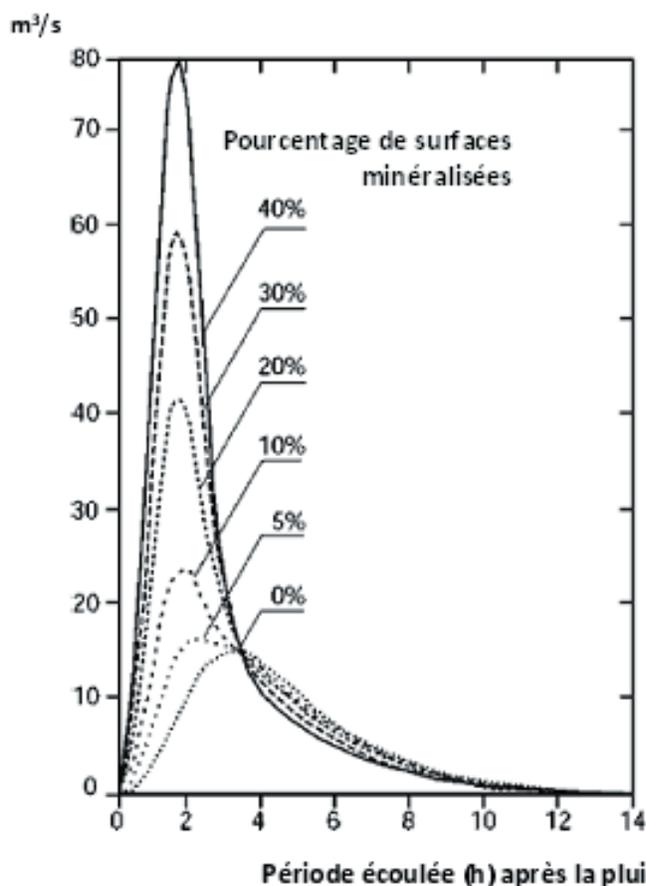
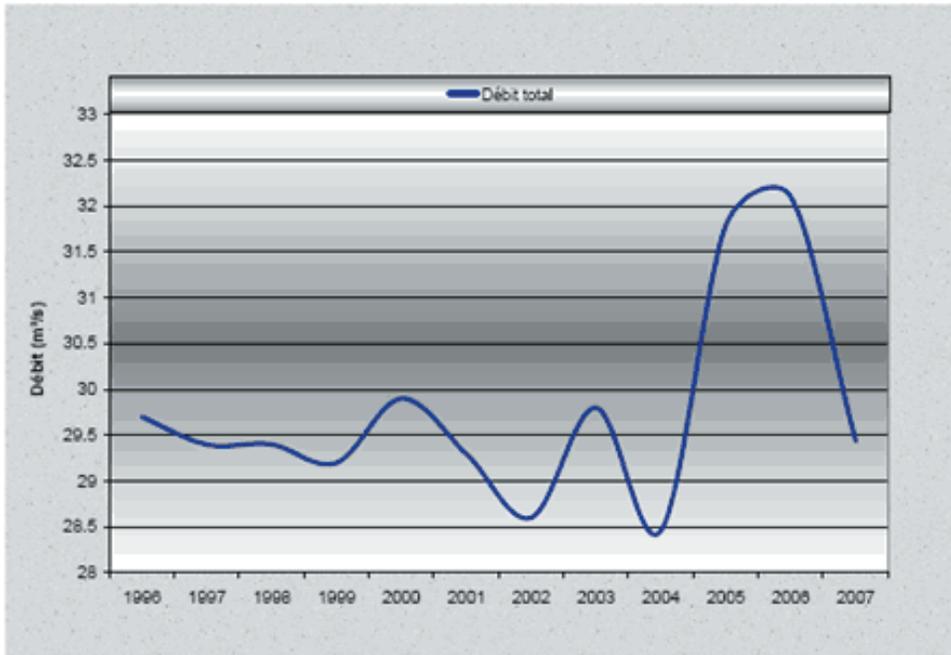


Figure 5 : Volume d'eau de ruissellement en fonction du temps écoulé après un épisode de pluie, pour différents taux de minéralisation des surfaces de réception. Tiré de Sru, 1987 (cité par Tyrvaïnen *et al.*, 2005).



**Figure 6** : Débits interceptés par la station d'épuration de Montréal de 1996 à 2007. Ceux-ci varient en fonction de la pluviosité annuelle. Tiré de Purenne, 2007.

### Les impacts sociaux du développement urbain

En plus des impacts environnementaux que l'on vient de mentionner, on sait maintenant que l'urbanisation peut nuire à la santé physique et mentale des habitants des villes en aggravant certains facteurs de stress, tels que le surpeuplement, la pauvreté, l'incidence élevée de la violence, la mauvaise qualité de l'air, etc. (Desjarlais *et al.*, 1995; Gidlof-Gunnarsson et Ohrstrom, 2007). Dans une étude réalisée en France auprès de 1382 personnes, l'augmentation de la pollution atmosphérique, le bruit et le manque d'espaces verts ont été identifiés comme faisant partie des 28 plus importants facteurs de stress pour la population urbaine (Robin *et al.*, 2007). Au Québec, la proportion des citoyens de plus de 15 ans éprouvant un stress quotidien est supérieure à la moyenne provinciale dans les régions les plus densément peuplées (Éco-Santé Québec, 2008a). De même, les régions de Montréal et de l'Outaouais comptent de plus hauts taux de violence conjugale que le reste du Québec méridional (Éco-Santé Québec, 2008b), alors que la prévalence de divers crimes contre la personne (homicide, négligence criminelle, tentative de meurtre et enlèvement ou séquestration) est significativement

plus élevée à Montréal que dans toute autre région du Québec (Éco-Santé Québec, 2008c). De tels problèmes affectent grandement la qualité de vie des individus et de leurs communautés.

Même si leur lien avec l'urbanisation n'est pas toujours clairement établi, il convient également de noter que divers problèmes de santé physique affectent aussi les habitants des villes. À titre d'exemple, depuis plusieurs années, l'asthme, une maladie respiratoire dont les liens avec la pollution atmosphérique

sont connus (Bouchard et Smargiasi, 2008), affecte une proportion croissante de la population mondiale (OMS, 2009), y compris au Québec. La recrudescence des problèmes liés à l'obésité n'épargne pas non plus le Québec, où la prévalence de l'excès de poids et de l'obésité chez les adultes a augmenté de près de 50 % de 1987 à 1998 (Institut national de santé publique du Québec, 2006).

### 2<sup>e</sup> partie : Les arbres en milieu urbain comme stratégie de développement durable

Les problèmes environnementaux et sociaux liés à l'urbanisation pourraient affecter la durabilité du développement des villes du Québec. On peut donc, à l'instar de Carreiro (2008), se demander comment « créer des villes plus durables, plus résistantes aux fluctuations environnementales et offrant des conditions de vie plus saines qui permettront à la population non seulement d'exister, mais également de s'épanouir ».

La foresterie urbaine est considérée comme un élément important de toute stratégie globale visant à répondre à ce besoin. La forêt urbaine est constituée

de l'ensemble des arbres et arbustes, issus de propagation naturelle ou plantés par l'être humain, qui sont situés à l'intérieur des limites d'une ville, incluant ceux qu'on trouve dans les boisés, les parcs, les emprises de rues et les terrains privés (Figure 7) (Carreiro et Zipperer, 2008; Jorgensen, 1993, cité par le Réseau canadien de la forêt urbaine, 2009). Dans les pages qui suivent, nous nous attarderons à l'impact de cette forêt sur l'environnement urbain, ainsi qu'à ses bénéfices économiques et sociaux.



**Figure 7.** Arbres le long d'une rue. Tiré du Réseau canadien de la forêt urbaine, 2009.

## Forêt urbaine et environnement

### La chaleur urbaine

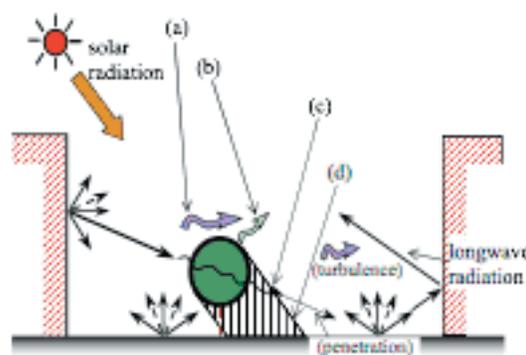
La lutte contre les îlots de chaleur urbains est considérée par plusieurs comme étant le service environnemental le plus important offert par la forêt urbaine (Dimoudi et Nikolopoulou, 2003; Sieghardt *et al.*, 2005; Hardin et Jensen, 2007; Lin *et al.*, 2008). Les arbres atténuent ce phénomène *via* deux processus principaux : l'ombrage des surfaces minéralisées et l'évapotranspiration.

D'une part, la canopée des arbres permet l'ombrage des surfaces minéralisées, empêchant les rayons solaires de les atteindre et réduisant donc l'accumulation de chaleur (Figure 8) (Huang *et al.*, 2008). D'autre part, les arbres rafraîchissent l'air ambiant de façon indirecte, grâce au processus physiologique de la transpiration (Dimoudi et Nikolopoulou, 2003; Georgi et Zafiriadis, 2006), qui consiste en la perte d'eau par les feuilles de la plante, et à son évaporation, c'est-à-dire à son passage à la forme gazeuse, qui requiert une grande quantité d'énergie soutirée à l'air ambiant sous forme de chaleur, ce qui entraîne une baisse de la température ambiante (Sieghardt *et al.*, 2005).

Divers résultats de recherche ont démontré qu'un bon couvert arboré peut réduire la température de façon importante, notamment lors de

fortes chaleurs (Dimoudi et Nikolopoulou, 2003; Hardin et Jensen, 2007; Huang *et al.*, 2008). L'effet refroidissant d'un secteur végétalisé peut être ressenti non seulement sous le couvert des arbres-mêmes, mais aussi jusqu'à plusieurs dizaines de mètres au-delà de la zone arborée (Figure 9) (Shashua-Bar et Hoffman, 2000; Dimoudi et Nikolopoulou, 2003; Sieghardt *et al.*, 2005) et même, dans certains cas, jusqu'à une distance de 1 à 2 km, comme cela a été observé pour le New Town's Central Park (35 ha), au Japon (Ca *et al.*, 1998, cités par Shashua-Bar et Hoffman, 2000), et le Parc central de la ville de Mexico (500 ha) (Jauregui, 1990, cité par Shashua-Bar et Hoffman, 2000).

Il semble en fait y avoir consensus dans la littérature scientifique en ce qui a trait à la capacité des arbres à réduire la température ambiante.



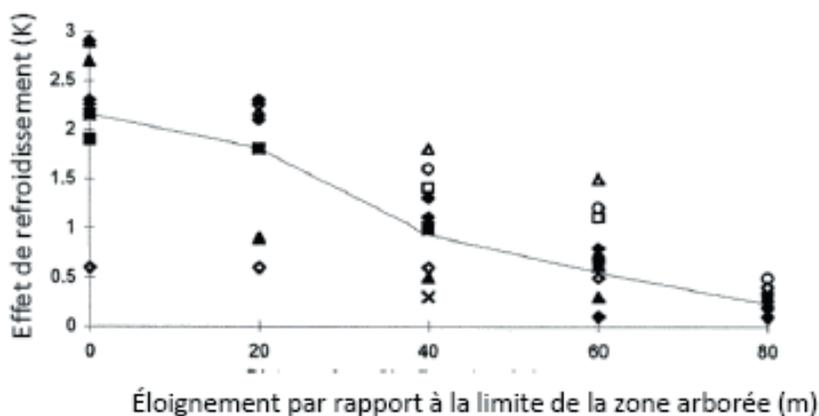
- (a) Effet aérodynamique de la canopée
- (b) Chaleur latente provenant de la couronne de l'arbre
- (c) Effet d'ombrage contre les radiations solaires à ondes longues
- (d) Effet d'ombrage contre les radiations solaires à ondes courtes.

**Figure 8.** Effets d'un arbre dans la lutte contre la chaleur urbaine. Tiré de Yoshida *et al.*, 2006 (cités par Mochida et Lun, 2008).

L'intensité de cet effet de refroidissement est fonction de la densité de la canopée, de la taille des arbres (Georgi et Zafiriadis, 2006), de leur surface foliaire (Lin *et al.*, 2008) et de leur emplacement (Sieghardt *et al.*, 2005). Par contre, les arbres ne se trouvent pas toujours dans un contexte qui leur permet de jouer ce rôle à pleine capacité. Ainsi, en période de stress hydrique, le processus de transpiration est bloqué par la fermeture des stomates, une réaction physiologique qui protège les arbres de la déshydratation (Kjelgren et Montague, 1998). Des épisodes de sécheresse peuvent réduire significativement le niveau de transpiration des arbres, et par le fait même leur effet sur la température ambiante. La résistance des

(Beckett *et al.*, 2000; Freer-Smith *et al.*, 2004; Sieghardt *et al.*, 2005; Nowak *et al.*, 2006). Les taux d'absorption et de séquestration des polluants sont fonction de l'activité physiologique de l'arbre et de son rythme de croissance, de même que de la longueur de la période de croissance et de la durée de la saison de feuillaison (Nowak *et al.*, 2006). Des mesures réalisées dans diverses villes des États-Unis ont montré que les arbres absorbaient en moyenne 110 kg/ha de polluants atmosphériques (CO<sub>2</sub> non inclus) par année (Nowak *et al.*, 2006).

Les polluants particulaires (cendres, poussières, pollen, PM<sub>2,5,10</sub> et particules de métaux lourds, principalement) sont quant à eux retirés de l'air par le filtre naturel que forment les branches, les feuilles et les aiguilles des arbres (Beckett *et al.*, 2000; McDonald *et al.*, 2007; Tomasevic *et al.*, 2005). Le taux de capture des particules polluantes est surtout fonction de la surface foliaire totale de l'arbre, de la densité de sa couronne et de la forme de ses feuilles (Figure 10), de même que de la taille et de la concentration des particules (Beckett *et al.*, 2000; Freer-Smith *et al.*, 2004; Tomasevic *et al.*, 2005; Tiwary *et al.*, 2009). Selon Nowak (1994, cité par Nowak et Crane,



**Figure 9.** Effet résiduel de refroidissement en fonction de l'éloignement par rapport à la zone arborée. Une différence de 1 K correspond à 1 °C. Tiré de Shashua-Bar et Hoffman, 2000.

arbres à la sécheresse varie selon les espèces (Oren et Pataki, 2001; Gartner *et al.*, 2009).

## La qualité de l'air

### La capture des polluants atmosphériques

Le retrait de polluants de l'air ambiant est un bénéfice précieux fourni par la forêt urbaine (Solecki *et al.*, 2005). Deux processus sont en cause : l'absorption des contaminants gazeux par les stomates des feuilles et le dépôt des éléments polluants particulaires à leur surface.

Les particules gazeuses (NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et autres) peuvent être absorbées par les stomates des feuilles et stockées dans les tissus de l'arbre, tels que le tronc, les branches et les feuilles en formation

(2002), de grands arbres à maturité (dont le tronc a un diamètre de plus de 77 cm) ont la capacité de retirer jusqu'à 60 à 90 fois plus de polluants atmosphériques que de petits arbres (dont le tronc a un diamètre de moins de 8 cm) en raison de leur plus grande surface foliaire. Par contre, les particules captées par les feuilles peuvent être remises en suspension lors de forts vents (McPherson *et al.*, 1994). Ce phénomène ne serait toutefois pas observé pour des vents inférieurs à 32,4 km/h (Freer-Smith *et al.*, 2004).

Il convient cependant de noter que selon Nowak et Crane (2002) et Nowak *et al.* (2002), les effets bénéfiques du retrait de polluants atmosphériques par les arbres pourraient être contrebalancés en partie par les émissions polluantes engendrées par les activités liées à leur entretien.

### Le relâchement de composés organiques volatiles (COV)

Alors qu'ils sont prisés pour les services environnementaux qu'ils dispensent, il semble que les arbres puissent également entraîner une augmentation de la teneur en certains polluants atmosphériques en raison du rejet de composés organiques volatiles (COV). Les COV sont des composés photoréactifs qui réagissent, sous l'effet de la chaleur et des rayons solaires, avec les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) présents dans l'air pour former de l'ozone ( $\text{O}_3$ ), un gaz très polluant et irritant (Benjamin et Winer, 1998; Sailor, 1998; Freer-Smith *et al.*, 2004; Narumi *et al.*, 2009). La formation d'ozone dépend notamment de l'intensité du relâchement des COV (qui est elle-même fonction de l'espèce d'arbre), de la température ambiante et de la quantité de rayons solaires qui induisent la transformation des COV en  $\text{O}_3$  (Benjamin et Winer, 1998).

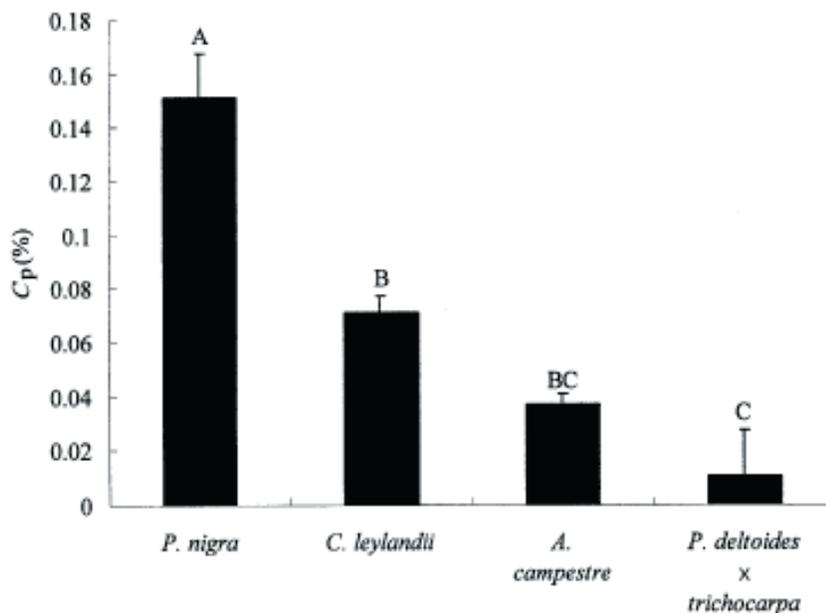
Certains arbres, dans certains contextes, peuvent donc présenter un bilan positif en termes d'amélioration de la qualité de l'air, alors que d'autres ont un bilan plutôt négatif ou nul (Freer-Smith *et al.*, 2004), ce qui illustre l'importance

d'étudier l'impact des arbres sur l'environnement de manière intégrée (Nowak *et al.*, 2006). McDonald *et al.* (2007) soulignent également qu'il faut demeurer réaliste et bien distinguer les effets bénéfiques potentiels de ceux qu'on peut raisonnablement espérer atteindre. Néanmoins, à la suite de résultats positifs obtenus un peu partout à travers le monde, de plus en plus d'autorités municipales et d'organismes d'importance, tels que la *US Environmental Protection Agency*, considèrent la foresterie urbaine comme une stratégie permettant de contribuer à l'atteinte d'objectifs relatifs à la qualité de l'air dans plusieurs villes (Nowak *et al.*, 2006).

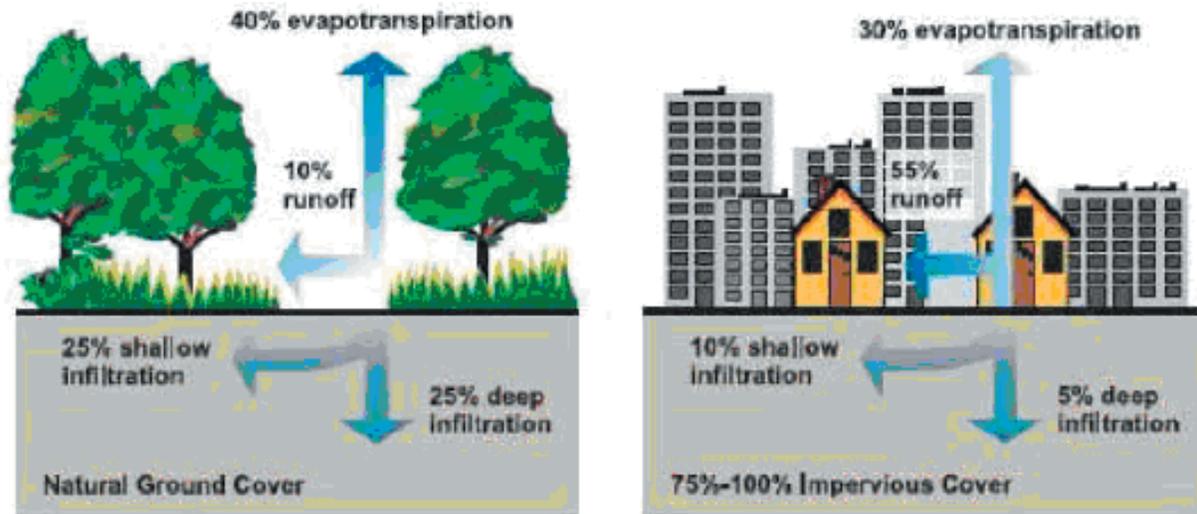
### La gestion de l'eau

La présence d'arbres en milieu urbain peut être considérée comme une stratégie clé pour améliorer la gestion des eaux de ruissellement. De concert avec la végétation herbacée, les arbres diminuent les volumes d'eau à traiter de trois manières principales (Xiao *et al.*, 1998; Xiao et McPherson, 2002; McPherson, 2005; Sieghardt *et al.*, 2005; Tyrvaïnen *et al.*, 2005; Labrecque et Vergriete, 2006; Matteo *et al.*, 2006) :

1. En réduisant la proportion de surfaces minéralisées, la présence d'arbres augmente la perméabilité du sol (Figure 11), ce qui facilite l'infiltration de l'eau en profondeur et favorise la recharge des nappes phréatiques ; il est à noter que cette recharge est primordiale pour assurer la survie des écosystèmes aquatiques qui en dépendent (Bradford et Gharabaghi, 2004) ;
2. Les arbres contribuent à améliorer la capacité de rétention en eau du sol grâce à l'action bénéfique de leurs racines et de leur litière ; une partie de cette eau est absorbée par les racines des arbres pour leur permettre de subvenir à leurs besoins (Figure 12) ;
3. En plus d'absorber de l'eau par leurs racines, les arbres, grâce à leur couronne, interceptent



**Figure 10.** Taux de capture (Cp) de particules de NaCl (diamètre moyen de 0,8  $\mu\text{m}$ ) en tunnels de vents. Les valeurs associées aux colonnes marquées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes les unes des autres. Les arbres étudiés sont le *P. nigra* (pin), le *C. leylandii* (cyprès), l'*A. campestre* (érable) et le *P. deltoides x trichocarpa* (peuplier hybride). Tiré de Beckett *et al.*, 2000.



Runoff = Ruissellement ; Shallow infiltration = Infiltration en surface ; Deep infiltration = Infiltration en profondeur ; Evapotranspiration = Évapotranspiration ; Natural Ground Cover = Couverture de sol naturelle ; Impervious Cover = Surface imperméable (Traduction libre par les auteurs)

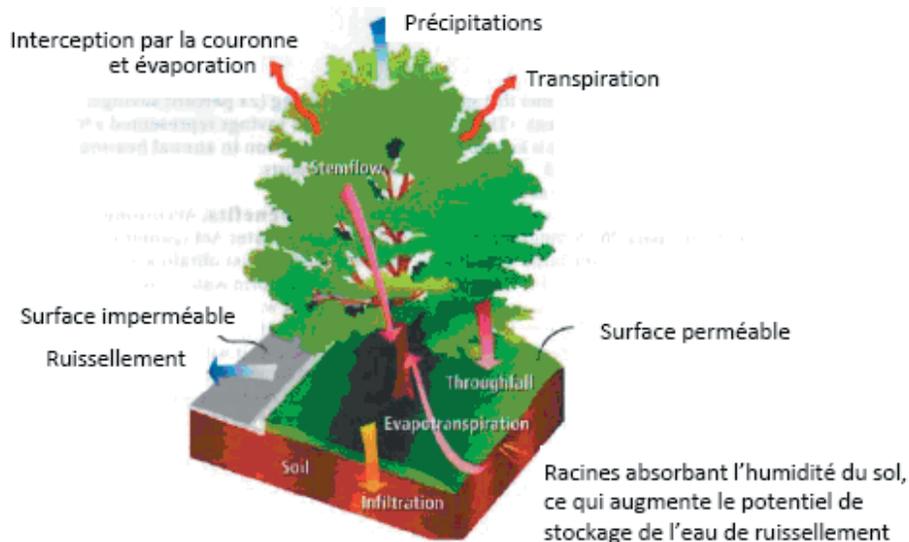
**Figure 11.** Distribution de l'eau de pluie en milieux rural et urbain. Tiré de EPA, 2003 (cité par Labrecque et Vergriete, 2006).

une certaine quantité d'eau de pluie, dont une partie s'évapore sans jamais atteindre le sol ; le volume d'eau intercepté dépend de l'architecture de l'arbre et du type de précipitation (la proportion d'eau retenue étant

plus élevée lors de faibles pluies) (Xiao *et al.*, 1998; McPherson *et al.*, 2007).

Il est à noter que les arbres situés dans les parcs ou les terrains boisés pourront entraîner une réduction du volume d'eau à traiter grâce à ces trois modes d'action, alors que l'impact bénéfique des arbres plantés dans des fosses (par exemple en bordure de trottoir) proviendra surtout du troisième phénomène.

Mailhot *et al.* (2008) soutiennent que la création d'espaces verts et la mise en place de bandes filtrantes font partie des stratégies ayant le potentiel de diminuer les quantités d'eau acheminées dans les systèmes d'égout et vers les usines de traitement. Ainsi, dans l'agglomération résidentielle du Merseyside, en Grande-Bretagne, l'étude du schéma hydrologique de onze résidences a clairement démontré une relation inverse entre la quantité d'espaces verts et le volume



Stemflow = Flux d'eau par la tige ; Throughfall = Eau de pluie qui passe à travers l'arbre et tombe au sol ; Evapotranspiration = Évapotranspiration ; Soil = Sol ; Infiltration = Infiltration (Traduction libre par les auteurs)

**Figure 12.** Effet de la présence d'un arbre sur les eaux de pluie. Tiré de McPherson, 2005.

de ruissellement des eaux (Whitford *et al.*, 2001, cités par Tyrvainen *et al.*, 2005).

Labrecque et Vergriete (2006) ont pour leur part analysé le potentiel d'interception de l'eau de pluie de la forêt urbaine de Montréal et de sa région métropolitaine en mettant en relation les données montréalaises et celles relevées dans la ville de Santa Monica, en Californie, par Xiao et McPherson (2002) (Tableau 2). Selon eux, les arbres situés en territoire public dans la ville de Montréal intercepteraient un peu plus de 2 % des précipitations annuelles. Si on tient compte de la contribution des arbres situés sur les terrains privés, il est donc raisonnable de penser qu'un accroissement de la superficie occupée par la forêt urbaine pourrait aider à réduire de façon significative les risques de débordement des réseaux d'égout à la suite de fortes pluies.

En plus de réduire les volumes d'eau acheminés aux usines de traitement, la réduction du ruissellement a également pour effet de contribuer à la diminution de la contamination des aquifères (Tyrvainen *et al.*, 2005; Matteo *et al.*, 2006; McPherson *et al.*, 2007). La végétation urbaine y contribue grâce au piégeage, à la filtration, à la précipitation et à l'assimilation des polluants par les plantes (Wu *et al.*, 1998; Timothy, 2003).

### Forêt urbaine et économie

Si l'ensemble de la population d'une ville profite des services environnementaux et sociaux assurés par les arbres situés en milieu urbain, les frais liés aux activités de développement et d'entretien du couvert forestier sur les terrains publics sont essentiellement

supportés par les municipalités (Tyrvainen *et al.*, 2005). On peut donc se demander si la forêt urbaine apporte des bénéfices économiques qui permettent de justifier les frais engendrés.

Pour plusieurs, cela ne fait pas de doute. La plantation d'arbres permettrait en effet de prévenir ou d'atténuer certains problèmes environnementaux qui, pour être réglés autrement, demanderaient des infrastructures encore plus coûteuses (Carreiro et Zipper, 2008). Cependant, la majorité des services fournis par la forêt urbaine n'ont pas de valeur marchande directe (Tyrvainen *et al.*, 2005; Vesely, 2007), ce qui en complique la quantification. Les principaux services environnementaux considérés lors des évaluations bénéfiques : coûts sont l'augmentation de la valeur des propriétés (Dombrow *et al.*, 2000; Sather, 2004), les économies en frais de soins de santé en raison de l'amélioration de la qualité de l'air (Nowak *et al.*, 2006), la réduction de la consommation énergétique et la diminution des volumes d'eau de ruissellement à traiter (McPherson, 2005; Tyrvainen *et al.*, 2005; McPherson *et al.*, 2007; Nowak et Dwyer, 2007). La valeur que les citoyens accordent aux arbres présents dans leur environnement est également utilisée comme indicateur dans le calcul des bénéfices de la forêt urbaine (McPherson, 2005; Vesely, 2007; Payton *et al.*, 2008).

### L'augmentation de la valeur des propriétés

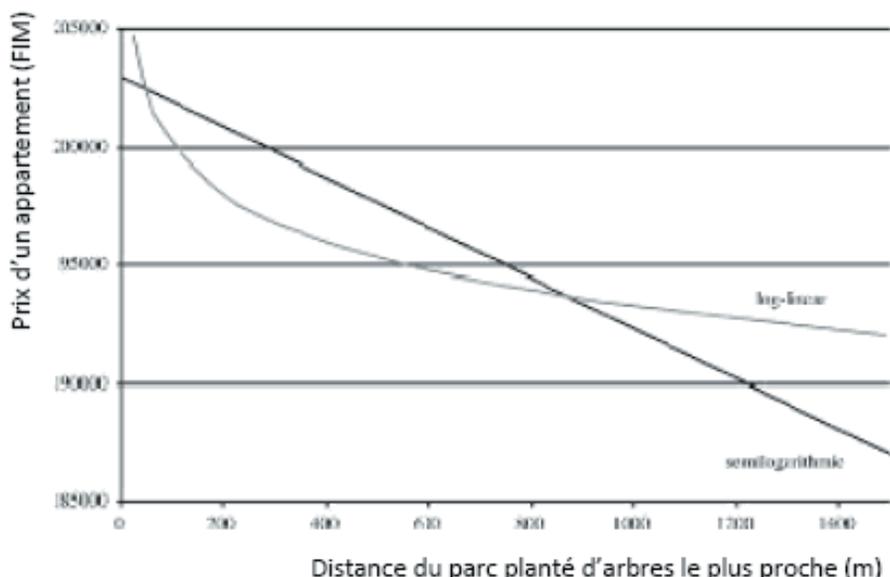
Un des effets les plus évidents lié à la présence d'arbres dans les quartiers résidentiels est l'augmentation de la valeur des propriétés. Jensen *et al.* (2004) ont observé une corrélation positive entre la quantité d'arbres,

l'indice de qualité de vie et le prix des habitations à Terre-Haute, en Indiana (États-Unis). Pour leur part, Des Rosiers *et al.* (2002) ont déterminé que dans la Communauté métropolitaine de Québec, la valeur des maisons localisées sur des terrains arborés était supérieure de 7,3 % à celle de maisons équivalentes situées

**Tableau 2.** Estimation du potentiel d'interception des précipitations par les arbres publics de la Ville de Montréal et par la totalité des arbres de la région métropolitaine de Montréal.

Territoire étudié	Nombre d'arbres	Superficie (km <sup>2</sup> )	Taux de boisement (arbres/km <sup>2</sup> )	Taux d'interception des précipitations annuelles totales
Ville de Santa Monica (Californie)	29 299 (publics)	21,5	1 363	1,6 %
Ville de Montréal	675 000 (publics)	366,4	1 842	2,2 %
Région métropolitaine de Montréal	39 600 000 (privés et publics)	2 211	17 910	21,0 %

Tiré de Labrecque et Vergriete, 2006.



**Figure 13.** Effet de la distance par rapport à la zone boisée la plus proche sur le prix d'un appartement dans le district de Salo, en Finlande (1 FIM = 0,26 \$CAN), entre 1984 et 1986. Tiré de Tyrvainen et Miettinen, 2000.

sur des terrains sans arbres. Une tendance similaire, quoique moins accentuée (hausse de 2 %), a été observée par Dombrow *et al.* (2000) à Baton Rouge, en Louisiane.

Dans le district de Salo, en Finlande, Tyrvainen et Miettinen (2000) ont pour leur part noté un lien entre le prix des appartements et leur proximité d'un boisé naturel d'une superficie d'un hectare (Figure 13). Dans une étude réalisée aux Pays-Bas, Luttk (2000) a observé que la proximité d'un parc augmentait la valeur des maisons de 6 %, alors que la vue d'un parc depuis la maison en augmentait la valeur de 8 %.

Pour une municipalité, l'augmentation de la valeur des résidences entraîne généralement des revenus supplémentaires, grâce à la hausse des taxes foncières perçues (Bell et Wheeler, 2006), puisque celles-ci sont généralement liées à la valeur des maisons, comme c'est le cas au Québec (Tableau 3).

### La décontamination de l'air

La foresterie urbaine est considérée par plusieurs comme une des méthodes les moins dispendieuses pour réduire la contamination de l'air (Bell et Wheeler, 2006). Par contre, l'impact économique de ce service environnemental est difficile à mesurer. Il s'estime généralement en évaluant, pour chaque polluant, le nombre d'unités retirées par arbre et la valeur monétaire associée à chaque unité. La première valeur s'obtient en mesurant la performance de chaque espèce d'arbres en termes de capture des divers polluants, comme

cela a été fait par Nowak *et al.* (2006). Pour sa part, la valeur monétaire de chaque polluant est obtenue en évaluant le coût associé à ses externalités négatives (Nowak *et al.*, 2006; Nowak et Dwyer, 2007).

Ainsi, en tenant compte des frais associés à ces externalités, Nowak *et al.* (2006) suggèrent

**Tableau 3.** Taxes foncières payées par les propriétaires dans différentes villes du Québec, pour des augmentations de 4 et 8 % de la valeur de leurs résidences et édifices de six logements ou moins.

Villes	Taxe foncière (\$/100 \$ d'évaluation)	Taxes perçues selon la valeur de la propriété		
		250 000\$	260 000\$ (+4%)	270 000\$ (+8%)
Ancienne ville de Drummondville	0,83 <sup>1</sup>	2 075\$	2 158\$	2 241\$
Montréal-Est	0,9724 <sup>2</sup>	2 431\$	2 528\$	2 625\$
Ancienne ville de Québec	1,36 <sup>3</sup>	3 400\$	3 536\$	3 672\$
Trois-Rivières	1,4825 <sup>4</sup>	3 706\$	3 855\$	4 003\$
Baie-Comeau	2,08 <sup>5</sup>	5 200\$	5 408\$	5 616\$

1. Ville de Drummondville, 2009 ; 2. Ville de Montréal-Est, 2009 ; 3. Ville de Québec, 2009 ; 4. Ville de Trois-Rivières, 2009 ; 5. Ville de Baie-Comeau, 2009

d'accorder les valeurs suivantes aux polluants les plus importants captés par les plantes : NO<sub>2</sub>, 7 305 \$CAN/t ; PM<sub>10</sub>, 4 878 \$CAN/t ; SO<sub>2</sub>, 1 789 \$CAN/t ; CO, 1 038 \$CAN/t ; O<sub>3</sub>, 7 305 \$CAN/t. À titre d'exemple, McPherson *et*

*al.* (1994) ont déterminé que les bénéfices liés au retrait de polluants par la forêt urbaine de Chicago pouvaient être évalués à 9,2 millions de dollars pour l'année 1991. Pour l'ensemble de la ville d'Atlanta, Nowak et Dwyer (2007) font état d'une valeur annuelle moyenne d'environ 500 \$/ha de couvert forestier. Ce type d'évaluation doit évidemment être fait localement afin de produire des données adaptées à la situation particulière de chaque ville.

Il est à noter qu'en raison de leur spécificité, les bénéfices associés à la séquestration du CO<sub>2</sub> seront traités dans une section à part un peu plus loin.

### La réduction de la consommation énergétique

La plantation d'arbres près des édifices peut diminuer de manière significative la consommation d'énergie vouée à la climatisation et au chauffage (Brack, 2002; McPherson, 2005). À Sacramento, en Californie, où la température ambiante dépasse 32 °C plus de 70 jours par année, l'implantation d'arbres est considérée comme une des méthodes les plus efficaces en termes de bénéfices : coûts pour réduire les problèmes de chaleur urbaine (Dwyer *et al.*, 1992).

Pendant les étés chauds, l'effet rafraîchissant des arbres sur l'air ambiant et l'ombrage des façades diminuent les besoins en climatisation (Solecki *et al.*, 2005). Un arbre dont la couronne est dense aurait le potentiel d'intercepter jusqu'à 98 % des rayons solaires (Johnston et Newton, 2004, cités par Dubois et Vergriete, 2009). Les arbres et autres îlots de végétation situés autour des édifices permettraient ainsi d'y réduire la température ambiante de 3 °C en été (Dubois et Vergriete, 2009). En hiver, l'effet brise-vent du couvert arboré réduit le refroidissement des façades et limite les infiltrations d'air dans les édifices, diminuant ainsi les besoins en chauffage (Brack, 2002; McPherson *et al.*, 2007). Cependant, des conifères installés devant la façade sud des maisons pourraient avoir l'effet inverse en bloquant les rayons du soleil (McPherson *et al.*, 1997).

### La réduction du volume des eaux de ruissellement

La gestion des eaux usées et des eaux de ruissellement entraîne des coûts très importants pour les municipalités. À Montréal, ce coût a été estimé en 2000 à environ 0,052 \$/m<sup>3</sup> d'eau usée, pour un budget total d'environ 43 millions de dollars par année. Les eaux issues des pluies et de la fonte des neiges comptent pour environ 20 % du volume total (Ville de Montréal, 2009). Le traitement de ces eaux représente donc chaque année des déboursés de plusieurs millions de dollars. Afin de diminuer ces coûts, il est nécessaire de réduire la quantité d'eau acheminée aux usines de traitement. À Santa Monica, en Californie, Xiao *et al.* (1998) ont évalué qu'un seul arbre peut intercepter 6,6 m<sup>3</sup> d'eau de pluie annuellement. La diminution du ruissellement qui en résulte entraînerait selon eux des économies appréciables en permettant d'éviter la construction d'infrastructures pour le contrôle des inondations (0,60 \$US par arbre) et le traitement des eaux de ruissellement contaminées (3,20 \$US par arbre). De leur côté, McPherson *et al.* (2007) ont calculé que les quantités d'eau interceptées par un arbre, dans le nord-est des États-Unis, étaient en moyenne de 4,38 m<sup>3</sup>/année pour l'érable rouge (*Acer rubrum*), 7,23 m<sup>3</sup>/année pour le zelkova japonais (*Zelkova serrata*) et 3,44 m<sup>3</sup>/année pour le pin blanc (*Pinus strobus*), ce qui se traduirait par des bénéfices annuels de l'ordre de 9, 15 et 7 \$US par arbre, respectivement.

### Les coûts associés à la forêt urbaine

Les principales ressources destinées à la forêt urbaine sont investies pour la gestion, la plantation, l'entretien et le remplacement des arbres morts (McPherson, 2005; Blair, 2007; McPherson *et al.*, 2007). Randrup *et al.* (2001) soulignent que les frais encourus pour la réparation des dommages causés aux infrastructures urbaines par les arbres peuvent eux aussi être élevés (Tableau 4).

À Montréal, le coût de plantation d'un arbre urbain est évalué entre 500 et 1000 \$CAN lorsque les frais d'entretien pour les trois premières années sont pris en compte (Dubois et Vergriete, 2009). L'ampleur des coûts d'entretien varie en fonction de l'emplacement de l'arbre, de sa capacité à subvenir

à ses besoins et des facteurs de stress auxquels il est soumis (Solecki *et al.*, 2005). Ainsi, la plantation d'un arbre dans une fosse creusée à travers l'asphalte entraînera des coûts plus importants qu'une plantation en pleine terre (Giguère, 2009). De même, un arbre planté au bord d'une rue ou dans un secteur industriel nécessitera un suivi plus attentif qu'un arbre situé dans un parc ou un boisé urbain.

**Tableau 4.** Évaluation de divers coûts liés aux dommages causés aux infrastructures urbaines par les arbres.

Coûts	Fréquence (incidence/ arbre)	Coût moyen (\$US)	% des dépenses totales
Réparation des trottoirs	1 :99	480	44
Réparation de la surface des rues	1 :151	288	5
Réparation des caniveaux et bouches d'égout	1 :169	277	8
Prévention et atténuation			9
Enlèvement des arbres et remplacement	1 :596	537	13
Chutes de citoyens		6 245 <sup>1</sup>	7
Salaire des employés			7
Inspection			7

<sup>1</sup> Moyenne des frais d'indemnisation à verser aux victimes. Source: tiré de Randrup *et al.*, 2001.

### La rentabilité et la viabilité de la forêt urbaine

L'entretien d'un couvert arboré sain est un investissement dont la valeur et la rentabilité augmentent avec le temps (Figure 14) (Bell et Wheeler, 2006). McPherson *et al.* (2007) ont évalué que les bénéfices environnementaux offerts par un arbre de grande taille comme le zelkova japonais étaient cinq à six fois plus importants que ceux offerts par un arbre de petite taille comme le cerisier oriental (*Prunus serrulata*). Par ailleurs, les coûts d'entretien sont plus élevés dans les premières années suivant la plantation, alors que les arbres sont fragiles et nécessitent des soins minutieux (Bell et Wheeler, 2006). Malgré les coûts initiaux élevés de l'implantation des arbres, de nombreuses études font état de ratios bénéfiques : coûts positifs (Tableau 5). Les bénéfices calculés dépendent évidemment de l'intensité des problèmes environnementaux observés. Ainsi, dans une ville qui présente moins de problèmes de contamination de l'air, les bénéfices associés au retrait des contaminants

auront une valeur moindre que dans une ville dont l'air est plus pollué (McPherson, 2006).

Enfin, il ne faudrait pas négliger le fait que les arbres peuvent fournir de nombreux produits utiles aux citoyens. Même si cette dimension revêt beaucoup moins d'importance dans le contexte québécois que dans celui des pays des zones tropicales et subtropicales, par exemple, il convient de souligner que certains arbres peuvent procurer des aliments (fruits, noix, etc.), ainsi que divers autres produits ligneux et non ligneux.

## Forêt urbaine et société

### Les bénéfices sociaux de la forêt urbaine

De nombreuses études sociologiques démontrent les effets bénéfiques des arbres et des espaces verts sur la santé physique et psychologique de la population urbaine. Certains émettent l'hypothèse que la forêt urbaine améliore la santé des individus grâce au développement de quartiers plus attrayants et de parcs plus invitants (Frumkin, 2003; Wolf, 2004), où la pratique de l'activité physique est facilitée, même encouragée (Humpel et Neville, 2002; Laforzezza *et al.*, 2009). Pretty *et al.* (2005) vont plus loin en démontrant que la pratique de

**Tableau 5.** Estimation de ratios bénéfiques : coûts de la plantation d'arbres en milieu urbain dans différentes villes des États-Unis

Lieu	Ratio	Source
États-Unis en général	5 : 1	Geiger (2004)
Berkeley (Californie)	2,4 : 1	McPherson (2006)
Bismarck (Dakota du Nord)	3 : 1	McPherson (2006)
Chicago (Illinois)	2 : 1	McPherson <i>et al.</i> (1994)
Glendale (Californie)	3 : 1	McPherson (2006)
Modesto (Californie)	1,9 : 1	McPherson et Simpson (2002)
Santa Monica (Californie)	1,5 : 1	McPherson et Simpson (2002)

l'activité physique dans un environnement agréable, où les végétaux sont présents, entraîne des effets bénéfiques accrus sur la santé en comparaison avec un exercice physique effectué dans un milieu où les végétaux sont absents.

D'un point de vue psychologique, le lien entre bien-être et végétation est clairement établi (Kaplan, 1993; Frumkin, 2001; Kaplan, 2001; Gidhlof-Gunnarsson et Ohrstrom, 2007; Kaplan, 2007). Le contact avec la nature permet, de façon générale, de réduire le niveau de stress (Ulrich 1986; Parsons *et al.*, 1998; McPherson *et al.*, 2007), de reposer la vue et d'apaiser les tensions liées à la vie en milieu urbain (Vergriete et Labrecque, 2007). Des citoyens ayant un accès à un espace vert à l'abri du bruit présentent moins de problèmes psychosociaux, tels que fatigue et épuisement (19 % moins d'incidence), stress (16 %) et caractère irritable (15 %), que leurs concitoyens qui n'ont pas accès à un oasis de tranquillité végétalisée (Gidhlof-Gunnarsson et Ohrstrom, 2007). Lorsque des arbres sont visibles depuis les fenêtres, Kaplan (1993) a observé que les employés de bureau abordent leur travail d'une manière plus enthousiaste et s'absentent moins souvent. Il a aussi été démontré que le contact régulier avec un espace vert entraîne une hausse de l'attention et de la discipline des enfants à l'école (Wells, 2000; Taylor *et al.*, 2001; Faber Taylor *et al.*, 2002).

De plus, en fournissant des espaces de rencontre, les arbres et les espaces verts contribuent à améliorer la qualité des liens sociaux dans les communautés (Coley *et al.*, 1997; Leyden, 2003), à revitaliser les quartiers (Kuo, 2003) et à favoriser le développement d'un sentiment d'appartenance (Wolf, 2003a). Ainsi, Kuo (2003) a observé que l'achalandage sur les terrains extérieurs publics est supérieur de 75 à 100 %, tant pour les adultes que pour les enfants, lorsque l'espace est peuplé d'arbres et offre un environnement agréable, comparativement à des terrains extérieurs sans arbres. L'augmentation des contacts entre voisins qui en résulte entraîne un renforcement des liens sociaux et accroît la socialisation des enfants (Frumkin, 2003; Kuo, 2003), ce qui a un effet bénéfique direct sur la santé physique et psychologique des individus (Leyden, 2003). Dans un même ordre d'idées, Seeland *et al.* (2009) rapportent qu'à Zurich, en Suisse, les espaces naturalisés et les parcs récréatifs urbains, en attirant plusieurs jeunes citoyens, sont un catalyseur de contacts interculturels et favorisent l'intégration des jeunes immigrants qui, autrement, pourraient

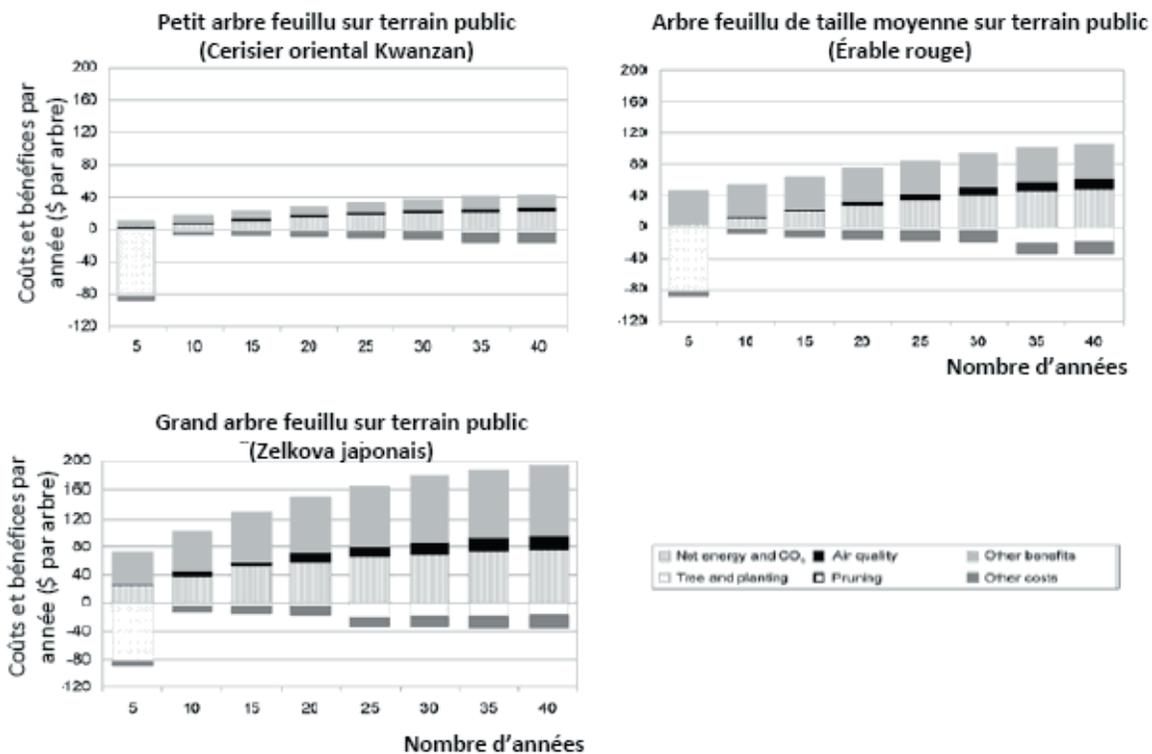


Figure 14. Estimation, sur une période de 40 ans, des coûts et bénéfices d'un arbre en milieu urbain pour des feuillus de différentes tailles. Adapté de McPherson *et al.*, 2007.

difficilement entrer en contact avec leurs compatriotes suisses.

### **La valeur accordée à la forêt urbaine par les habitants des villes**

De façon générale, l'arbre est associé, dans l'imaginaire des citoyens, à la qualité de vie. Une étude réalisée aux États-Unis auprès de 14 agglomérations de plus de 100 000 habitants a démontré que les quartiers commerciaux comportant de nombreux arbres bien entretenus projetaient une image positive qui attirait les consommateurs (Wolf, 2003b). Des résultats similaires ont été obtenus dans de petites villes de 10 000 à 20 000 habitants (Wolf, 2005).

En fait, les citoyens sont généralement très attachés aux arbres de leur ville. Vesely *et al.* (2007) ont calculé qu'en moyenne, les ménages étaient prêts à déboursier 184 \$NZ (environ 137 \$CAN) pour la sauvegarde des arbres présents dans leur milieu de vie. Les deux tiers des personnes interrogées ont même affirmé être disposées à s'impliquer bénévolement pour assurer l'entretien des arbres situés près de chez elles. En plus de tous les bénéfices psychologiques et physiques qui leur sont associés, la valeur esthétique des arbres est particulièrement appréciée par les habitants et les visiteurs (Kuchelmeister et Braatz, 1993; McPherson et Simpson, 2002; Bell et Wheeler, 2006) et compte même comme une des valeurs principales associées à la forêt urbaine (Brack, 2002; McPherson *et al.*, 2007).

## **3<sup>e</sup> partie : Foresterie urbaine et changements climatiques**

Les villes sont des joueurs clés pour les émissions de carbone et les changements climatiques puisque la plupart des activités humaines et économiques sont concentrées dans les zones urbaines

— Moreno *et al.*, 2008

En plus de présenter des avantages aux plans environnemental, économique et social, la foresterie urbaine apparaît de plus en plus comme une stratégie permettant à une ville d'atténuer les impacts négatifs attendus des changements climatiques.

### **Les prévisions**

Au Canada, on estime que la température moyenne annuelle devrait augmenter en général de 1 à 3 °C entre 2010 et 2039, avec d'importantes variations locales (Desjarlais *et al.*, 2004; Christensen *et al.*, 2007). Déjà, dans le sud du Québec, on a mesuré, entre 1960 et 2003, une augmentation de la température moyenne annuelle de 0,5 à 1,2 °C, les valeurs les plus élevées étant observées dans les stations situées à l'ouest de cette zone (Desjarlais *et al.*, 2004; Bourque et Simonet, 2008). De façon plus spécifique, on prévoit une diminution des épisodes de froid intense en hiver et une augmentation de la fréquence et de la durée des épisodes de chaleur extrême pendant l'été (Desjarlais *et al.*, 2004; Christensen *et al.*, 2007; Field *et al.*, 2007).

En ce qui a trait aux précipitations annuelles, il est prévu que, d'ici 2100, elles auront augmenté de 20 % en moyenne par rapport à l'an 2000, avec une recrudescence des événements extraordinaires de pluies torrentielles à travers l'Amérique du Nord (Christensen *et al.*, 2007). Se basant sur de nombreuses études scientifiques, Mailhot *et al.* (2008) avancent l'hypothèse que les épisodes de pluie intense augmenteraient de l'ordre de 7 à 23 %, au Québec, entre la période climatique 1961-1990 et la période de 2041-2070.

## La forêt urbaine pour atténuer les impacts négatifs des changements climatiques

Comme on a pu le voir dans la première partie de la présente note de synthèse, les périodes de chaleur intense provoquent un grand inconfort pour les habitants d'une ville et ont diverses conséquences négatives sur leur santé. L'augmentation de la chaleur a également comme effet indirect d'augmenter la concentration de polluants dans l'air (Narumi *et al.*, 2009), ce qui a aussi des impacts négatifs sur la santé de la population. La contribution du couvert arboré d'une ville à la réduction de la chaleur urbaine et à la capture de polluants atmosphériques prend donc ici toute son importance.

De plus, l'augmentation prévue des précipitations devrait accroître les risques d'inondation par débordement des rivières ou par refoulement des systèmes de collecte d'eau (Christensen *et al.*, 2007; Mailhot *et al.*, 2008). La mise en place d'espaces verts et de systèmes de rétention d'eau misant sur la présence d'une composante végétale pourrait contribuer à atténuer la fréquence de ces épisodes, principalement en permettant la réduction de la quantité d'eau de ruissellement qui atteint les réseaux d'égout (Labrecque et Vergriete, 2006; Mailhot *et al.*, 2008).

## La forêt urbaine comme outil de lutte contre l'effet de serre

Bien que les villes ne soient pas les seules sources de gaz à effet de serre, il convient de noter que les activités productives et l'effervescence globale qui les caractérisent entraînent la production d'une quantité importante de ce type de polluants, principalement le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub>, le N<sub>2</sub>O et l'O<sub>3</sub>, *via* la combustion d'énergie fossile (Yannas, 2001; Nowak *et al.*, 2002; Barry et Chorley, 2003; Sieghardt *et al.*, 2005). Selon Moreno *et al.* (2008), même s'il est impossible, avec les données actuelles, de calculer la part exacte de la production de gaz à effet de serre imputable aux villes, le fait que la majorité des édifices et des réseaux de transport se trouvent en zones urbaines permet de croire qu'elles jouent un rôle majeur à ce niveau.

En raison de leur capacité à emmagasiner le carbone obtenu par l'absorption de CO<sub>2</sub>

atmosphérique, les arbres sont généralement reconnus comme des éléments fondamentaux de toute stratégie visant à lutter contre l'effet de serre (Nowak, 1993; Brack, 2002; Nowak et Crane, 2002; Nowak *et al.*, 2002; Nowak et Dwyer, 2007). Comme le carbone atmosphérique est intégré aux tissus des arbres pendant leur croissance, leur performance en termes de séquestration du carbone dépend notamment de leur vitesse de croissance et de leur biomasse (Nowak, 1993; Brack, 2002; Nowak et Crane, 2002; Yang *et al.*, 2005). Selon Nowak et Dwyer (2007), un arbre en santé de grande taille (d'un diamètre de plus de 77 cm) peut séquestrer environ 93 kg de carbone par année. Cependant, lorsque vient le temps de calculer le taux de séquestration net d'une forêt urbaine, il ne faut pas négliger le fait que la coupe ou la mort d'un arbre entraîne éventuellement, par le processus de décomposition, le rejet du CO<sub>2</sub> séquestré (Nowak, 1993; Nowak *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2005). À Atlanta, aux États-Unis, on a évalué que le taux de séquestration net représentait 75 % du taux annuel brut, alors qu'il n'était que de 54 % à New York en raison d'un taux de mortalité des arbres plus élevé (Nowak et Crane, 2002).

Cela dit, la quantité de carbone atmosphérique séquestrée par une forêt urbaine ne peut, à elle seule, contrebalancer la production issue des villes. À titre d'exemple, les 140 600 tonnes de CO<sub>2</sub> séquestrées annuellement par la forêt urbaine de Chicago n'équivalent qu'aux émissions issues de la circulation routière pendant une semaine (Nowak, 1994, cité par Nowak et Dwyer, 2007). Pour l'ensemble des États-Unis, les 22,8 millions de tonnes de carbone séquestrées chaque année par les arbres en milieu urbain ne compensent les émissions de carbone de la population états-unienne que pendant 5 jours (Nowak et Crane, 2002). Nowak (1993) souligne tout de même l'importance de préserver ce potentiel de séquestration en conservant, voire même en développant les forêts urbaines, qui sont de plus en plus appelées à jouer un rôle majeur dans les programmes intégrés de lutte contre l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans les villes.

Divers chercheurs soulignent également les bénéfices qui peuvent être tirés d'une bonne distribution spatiale des espaces consacrés à la forêt urbaine, et notamment de sa proximité avec les zones résidentielles. Une telle proximité des espaces arborés est considérée comme un élément clé d'approches comme celle de l'urbanisme multifonctionnel à l'échelle des quartiers (Vreeker, 2004), où la coexistence des multiples fonctions urbaines (résidentielle, commerciale, récréative, professionnelle) est encouragée de façon à ce que leurs habitants réalisent l'ensemble de leurs activités avec un minimum de déplacements (Dijst, 1999), ce qui permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, tout en simulant la revitalisation des quartiers.

### **Les impacts des changements climatiques sur la forêt urbaine**

Si les arbres en milieu urbain peuvent aider à atténuer les impacts des changements climatiques, ceux-ci, en retour, ne sont pas sans effet sur ces mêmes arbres. En fait, les changements climatiques attendus pourraient avoir certains impacts positifs sur la forêt urbaine, notamment en allongeant la saison de croissance grâce à l'augmentation des températures. Zhou *et al.* (2001) ont observé, entre 1981 et 1999, une augmentation moyenne de la saison végétative de 12 jours en Amérique du Nord. Ce phénomène entraîne un allongement de la période pendant laquelle les arbres peuvent fournir des services environnementaux significatifs.

Par contre, des températures plus chaudes en hiver ne sont généralement pas favorables aux espèces adaptées à des conditions plus rigoureuses. C'est le cas en particulier des épisodes de réchauffement important, qui peuvent entraîner une éclosion hâtive des bourgeons. Ceux-ci, lorsque le froid est de retour, peuvent subir un gel entraînant des dommages allant jusqu'au dépérissement ou à la mort de l'arbre. L'amincissement ou la disparition de la couverture de neige expose par ailleurs les racines à un plus grand risque de gel (Desjarlais *et al.*, 2004). Des températures hivernales plus élevées pourraient aussi entraîner l'apparition d'insectes nuisibles qui

étaient jusque là maîtrisés par le froid (Volney et Fleming, 2000).

La recrudescence d'autres types d'événements climatiques extrêmes, comme la tempête de verglas qui a détruit des millions d'arbres au Québec en 1998 (McCready, 2004), ou la tempête de vents violents, avec des bourrasques de plus de 110 km/h, qui a causé de nombreux dommages aux arbres de la banlieue de Montréal le 10 juin 2008 (Centre de ressources en impacts et adaptation au climat et à ses changements, 2009), pourrait également avoir un impact négatif sur la forêt urbaine. Selon Flannigan (1998, cité par Desjarlais *et al.*, 2004), cet impact s'avèrerait plus dommageable que les effets les plus néfastes de la hausse de température.

Dans ce contexte, une saine gestion des arbres apparaît incontournable si l'on veut maintenir une forêt urbaine de qualité. Le choix d'arbres rustiques, bien adaptés au climat, et la mise en place d'entretiens préventifs afin de s'assurer que les arbres soient en bonne santé et bien configurés, aussi bien sur les terrains privés, grâce à une sensibilisation de leurs propriétaires, qu'en domaine public, apparaissent parmi les stratégies à mettre en œuvre pour minimiser les impacts défavorables des changements climatiques sur la forêt urbaine. De telles stratégies permettraient également de réduire les dommages causés par la chute de branches d'arbres à des infrastructures telles que les lignes électriques.

### **Conclusion**

Le développement des villes, l'augmentation de leur population et l'intensification des problèmes environnementaux qui y sont associés sont des facteurs qui menacent la qualité de vie de leurs habitants. Or, à cela s'ajoute à présent la menace des impacts négatifs liés aux changements climatiques. Il devient donc de plus en plus urgent de développer des stratégies qui permettront d'infléchir cette tendance et contribueront au développement durable des villes. L'analyse intégrée des différents effets des arbres sur la qualité de vie en milieu urbain, aux plans environnemental, économique et social, semble démontrer que la forêt urbaine peut contribuer de manière significative à cette durabilité.

Au plan de l'environnement, les résultats de diverses études scientifiques démontrent en effet l'impact bénéfique des arbres en matière de réduction de la chaleur urbaine, de capture de contaminants atmosphériques et d'amélioration de la gestion de l'eau. De plus, les analyses économiques qui ont été réalisées jusqu'à présent rapportent systématiquement des ratios bénéfiques : coûts positifs à long terme, démontrant la rentabilité et la pertinence des investissements effectués dans la gestion et le développement d'une forêt urbaine. D'un point de vue social, on observe plusieurs effets bénéfiques de la forêt urbaine sur la valeur esthétique et la qualité générale du cadre de vie des citoyens, ainsi que sur leur santé physique et psychologique. Enfin, l'entretien et le développement d'une forêt urbaine luxuriante peut contribuer de façon significative à minimiser les principaux impacts négatifs anticipés des changements climatiques, principalement la hausse des températures et l'augmentation des précipitations. Ainsi, même si la foresterie urbaine ne peut à elle seule enrayer tous les problèmes environnementaux observés dans les villes, elle a le potentiel de jouer un rôle majeur dans le cadre d'une stratégie environnementale globale.

Le développement d'une véritable foresterie urbaine est donc une stratégie qui mérite une plus grande attention que celle qui lui a généralement été accordée jusqu'à présent. Certaines municipalités l'ont compris. Pour elles, la forêt urbaine apparaît de plus en plus comme un élément important de la compétitivité des villes et de leur capacité à attirer des entreprises novatrices et de jeunes familles. Les décideurs municipaux ont évidemment un rôle particulièrement significatif à jouer dans le développement de la foresterie urbaine. Ce sont eux, en effet, qui ont le pouvoir de l'intégrer aux priorités de développement urbain et d'encadrer légalement les actions qui y sont reliées.

### Les besoins en recherche

La grande majorité des études scientifiques portant sur la performance environnementale et économique des arbres en milieu urbain ont été effectuées ailleurs qu'au Québec, dans des contextes fort différents,

notamment au plan climatique. Il s'avère donc nécessaire d'augmenter les activités de recherche dans le domaine afin de développer des connaissances parfaitement adaptées à la réalité québécoise.

Parmi les questions qui mériteraient d'être étudiées, on peut mentionner les suivantes :

- Quelles sont les principales contraintes à la croissance des arbres en milieu urbain au Québec et quelles solutions peut-on envisager pour les résoudre ?
- Quelle est la performance des arbres adaptés aux milieux urbains du Québec en termes de lutte contre la chaleur, de capture de polluants atmosphériques et de réduction du ruissellement de l'eau de pluie et de fonte des neiges ?
- Quels sont les bénéfices environnementaux particuliers offerts par les arbres en période hivernale ?
- Quels sont les impacts économiques réels de la forêt urbaine dans les différentes villes du Québec ?
- Quels sont les bénéfices sociaux que peuvent tirer de la foresterie urbaine les villes québécoises en fonction du contexte particulier dans lequel elles se trouvent ?
- Quel est le potentiel de la forêt urbaine, dans le contexte climatique particulier du Québec, pour atténuer les impacts négatifs attendus des changements climatiques ?

Répondre à ces quelques questions améliorerait nettement les connaissances en ce qui a trait aux bénéfices environnementaux, économiques et sociaux de la forêt urbaine au Québec, permettant aux décideurs politiques d'adopter des stratégies de développement de la foresterie urbaine véritablement adaptées au contexte québécois.

### Remerciements

Des remerciements particuliers sont adressés à Jean Bousquet pour ses commentaires fort appréciés. Cette étude n'aurait pas été possible sans la contribution financière de l'Institut EDS.

## Bibliographie

- Arnold, C. L. Jr. et C. J. Gibbons. (1996). Impervious Surface Coverage. *Journal of the American Planning Association*, 62(2): 243-258.
- Barry, R. G. et R. J. Chorley. (2003). *Atmosphere, Weather and Climate*. 8<sup>th</sup> ed. Routledge, Londres, Royaume-Uni, 421 p.
- Beckett, K. P., P. H. Freer-Smith et G. Taylor. (2000). Particulate Pollution Capture by Urban Trees: Effect of Species and Windspeed. *Global Change Biology*, 6: 995-1003.
- Bell, R. et J. Wheeler. (2006). *Talking Trees, An Urban Forestry Toolkit for Local Governments*. ICLEI – Local Governments for Sustainability, Toronto, 88 p.
- Benjamin, M. T. et A. M. Winer. (1998). Estimating the Ozone Forming Potential of Urban Trees and Shrubs. *Atmospheric Environment*, 32(1): 53-68.
- Blair, D. F. (2007). Urban Tree Removals. pp. 377-398 In: *Urban and Community Forestry in the Northeast*. 2<sup>nd</sup> ed. Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 487 p.
- Bouchard, M. et A. Smargiasi. (2008). *Estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique au Québec : essai d'utilisation du Air Quality Benefits Assessment Tool (AQBAT)*. Institut national de santé publique du Québec, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Montréal, 59 p.
- Bourque, A. et G. Simonet. (2008). Québec. pp. 171-226 In: *Vivre avec les changements climatiques au Canada, édition 2007*. Lemmen, D. S., F. J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (éd.), Gouvernement du Canada, Ottawa, 448 p.
- Brack, C. L. (2002). Pollution Mitigation and Carbon Sequestration by an Urban Forest. *Environmental Pollution*, 116: S195-S200.
- Bradford, A. et B. Gharabaghi. (2004). Evolution of Ontario's Stormwater Management Planning and Design Guidance. *Water Quality Research Journal of Canada*, 39(4): 343-355.
- Burnett, R. T., D. Stieb, J. R. Brook, S. Cakmak, R. Dales, M. Raizenne, R. Vincent et T. Dann. (2004). Associations Between Short-Term Changes in Nitrogen Dioxide and Mortality in Canadian Cities. *Archives of Environmental Health*, 59 (5): 228-236.
- Carreiro, M. M. (2008). Introduction: The Growth of Cities and Urban Forestry. pp. 3-9 In: *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives*. Carreiro, M. M. et al. (eds.), Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 468 p.
- Carreiro, M. M. et W. C. Zipperer. (2008). Urban Forestry and the Eco-City: Today and Tomorrow. pp. 435-456 In: *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives*. Carreiro, M. M. et al. (eds.), Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 468 p.
- Cavayas, F. et Y. Beaudoin. (2008). Évolution des occupations du sol, du couvert végétal et des îlots de chaleur sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal (1984-2005). *Projet Biotopes, Volet 1*, Université de Montréal et Université du Québec à Montréal, Montréal, 120 p.
- Centre de ressources en impacts et adaptation au climat et à ses changements. (2009). *Rapport d'événements significatifs récents* [en ligne]. CRIACC. [www.criacc.qc.ca/climat/suivi/evnmt\\_xtrm\\_f.html](http://www.criacc.qc.ca/climat/suivi/evnmt_xtrm_f.html) (Page consultée le 10 janvier 2010).
- Characklis, G. W. et M. R. Wiesner. (1997). Particles, Metals, and Water Quality in Runoff from Large Urban Watershed. *Journal of Environmental Engineering*, 123(8): 753-759.
- Christensen, J. H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R. K. Kolli, W. -T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C. G. Menendez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr et P. Whetton. (2007). Regional climate projections [en ligne]. pp. 847-940 In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller, eds. Cambridge University Press, Cambridge and New York. [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf) (Page consultée le 20 août 2009).
- Coley, R.L., F.E Kuo et W.C. Sullivan. (1997). Where Does Community Grow? The Social Context

- Created by Nature in Urban Public Housing. *Environment and Behavior*, 294: 468-492.
- Desjarlais, R., L. Eisenberg, B. Good et A. Kleinman. (1995). *World Mental Health: Problems and Priorities in Low Income Countries*. University Press, Oxford, 382 p.
- Desjarlais, C., A. Bourque, R. Décoste, C. Demers, P. Deschamps et K.- H. Lam. (2004). *S'adapter aux changements climatiques*. Consortium Ouranos, Montréal, 91 p.
- Des Rosiers, F., M. Thériault, Y. Kestens et P. Villeneuve. (2002). Landscaping and House Values: An Empirical Investigation. *Journal of Real Estate Research*, 23 (1/2): 139-161.
- Dijst, M. (1999). Action Space as Planning Concept in Spatial Planning. *Netherland Journal of Housing and the Built Environment*, 14: 163-182.
- Dimoudi, A. et M. Nikolopoulou. (2003). Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. *Energy and Buildings*, 35: 69-76.
- Dombrow, J., M. Rodriguez et C. F. Sirmans. (2000). The Market Value of Mature Trees in Single-Family Housing Markets. *The Appraisal Journal*, January 2000: 39-43.
- Dubois, L. et Y. Vergriete. (2009). *Les aménagements de la végétation favorables aux économies d'énergie*. Jardin botanique de Montréal, Institut de recherche en biologie végétale, Montréal, 39 p.
- Dwyer, F. J., E. G. McPherson, H. W. Schroeder et R. A. Rowntree. (1992). Assessing the Benefits and Costs of the Urban Forest. *Journal of Arboriculture*, 18(5): 227-234.
- Éco-Santé Québec. (2008a). Proportion de la population éprouvant un stress quotidien élevé [en ligne]. Institut de recherche et documentation en économie de la santé. [www.ecosante.fr/quebec.htm](http://www.ecosante.fr/quebec.htm) (Page consultée le 25 septembre 2009).
- Éco-Santé Québec. (2008b). Taux de victimisation pour violence conjugale [en ligne]. Institut de recherche et documentation en économie de la santé. [www.ecosante.fr/quebec.htm](http://www.ecosante.fr/quebec.htm) (Page consultée le 25 septembre 2009).
- Éco-Santé Québec. (2008c). Taux de crimes contre la personne [en ligne]. Institut de recherche et documentation en économie de la santé. [www.ecosante.fr/quebec.htm](http://www.ecosante.fr/quebec.htm) (Page consultée le 25 septembre 2009).
- Faber Taylor, A., F. E. Kuo et W. C. Sullivan. (2002). Views of Nature and Self-Discipline: Evidence from Inner-City Children. *Journal of Environment Psychology, Special Issue: Environment and Children*, 22: 49-63.
- Field, C. B., L. D. Mortsch, M. Brklacich, D. L. Forbes, P. Kovacs, J. A. Patz, S. W. Running et M. J. Scott. (2007). North America. pp. 617-652 In: *Climate, Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry, M. L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson, eds. Cambridge University Press, Cambridge, Grande-Bretagne.
- Freer-Smith, P. H, A. A. El-Khatib et G. Taylor. (2004). Capture of Particulate Pollution by Trees: A Comparison of Species Typical of Semi-Arid Areas (*Ficus nitida* et *Eucalyptus globulus*) with European and North American Species. *Water, Air and Soil Pollution*, 155: 173-187.
- Frumkin, H. (2001). Beyond Toxicity: Human Health and the Natural Environment – Review and Special Articles. *American Journal of Preventive Medicine*, 20(3): 234-240.
- Frumkin, H. (2003). Healthy Places : Exploring the Evidence. *American Journal of Public Health*, 93(9): 1451-1456.
- Gartner, K, N. Nadezhdina, M. Englisch, J. Cermak et E. Leitgeb. (2009). Sap Flow of Birch and Norway Spruce during the European Heat and Drought in Summer 2003. *Forest Ecology and Management*, 258: 590-599.
- Gaumont, C. (2007). *Le verdissement montréalais pour lutter contre les îlots de chaleur urbains, le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique*. Conseil Régional de l'Environnement de Montréal, Montréal, 19 p.
- Geiger, J. (2004). The Large Tree Argument: The Case for Large Trees vs Small Trees. *Western Arborsit*, 30(1): 14-15.

- Georgi, N. J. et K. Zafiriadis. (2006). The Impact of Park Trees on Microclimate in Urban Areas. *Urban Ecosystem*, 9: 195-209.
- Gidlof-Gunnarsson, A. et E. Ohrstrom. (2007). Noise and Well-Being in Urban Residential Environments: The Potential Role of Perceived Availability to Nearby Green Areas. *Landscape and Urban Planning*, 83: 115-126.
- Giguère, M. (2009). *Revue de littérature – Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*. Institut national de santé publique du Québec, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Montréal, 95 p.
- Hardin P. J. et R. R. Jensen. (2007). The Effect of Urban Leaf Area on Summertime Urban Surface Kinetic Temperatures: A Terre Haute Case Study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 6: 63-72.
- Huang, L., J. Li, D. Zhao et J. Zhu. (2008). A Fieldwork Study on the Diurnal Changes of Urban Microclimate in Four Types of Ground Cover and Urban Heat Island of Nanjing, China. *Building and Environment*, 43: 7-17.
- Humpel, N. et O. Neville. (2002). Environmental Factors Associated with Adults' Participation in Physical Activity - A Review. *American Journal of Preventive Medicine*, 22(3): 188-199.
- Institut national de santé publique du Québec. (2006). Nutrition, activité physique et problèmes reliés au poids [en ligne]. [www.inspq.qc.ca/domaines/index.asp?Dom=40&Axe=42](http://www.inspq.qc.ca/domaines/index.asp?Dom=40&Axe=42) (Page consultée le 11 août 2009).
- Jensen, R. J. Gatrell, J. Boulton et B. Harper. (2004). Using Remote Sensing and Geographic Information Systems to Study Urban Quality of Life and Urban Forest Amenities [en ligne]. *Ecology and Society*, 9(5). [www.ecologyandsociety.org/vol9/iss5/art5/](http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss5/art5/) (Page consultée le 15 août 2009).
- Johnson, D. P. et J. S. Wilson. (2009). The Socio-Spatial Dynamics of Extreme Urban Heat Events: The Case of Heat-Related Deaths in Philadelphia. *Applied Geography*, 29: 419-434.
- Johnston, M. (2004). Impacts and Adaptation for Climate Change in Urban Forests. Article présenté à la 6e conférence canadienne sur la foresterie urbaine, 19-23 octobre 2004, Kelowna, B.C., Canada, 14 p.
- Kaplan, R. (1993). The Role of Nature in the Context of the Workplace. *Landscape and Urban Planning* 26(1-4): 193-201.
- Kaplan, R. (2001). The Nature of the View From Home-Psychological Benefits. *Environment and Behavior* 33(4): 507-542.
- Kaplan, R. (2007). Employee's Reactions to Nearby Nature at their Workplace: the Wild and the Tame. *Landscape and Urban Planning*, 82: 17-24.
- King, V. J. et C. Davis. (2007). A Case Study of the Urban Heat Islands in the Carolinas. *Environmental Hazards*, 7: 353-359.
- Kjelgren, R. et T. Montague. (1998). Urban Tree Transpiration Over Turf and Asphalt Surfaces. *Atmospheric Environment*, 32 (1): 35-41.
- Kolokotroni, M. et R. Giridharan. (2008). Urban Heat Island Intensity in London: An Investigation of the Impact of Physical Characteristics on Changes in Outdoor Air Temperature During Summer. *Solar Energy*, 82: 986-998.
- Kuchelmeister, G. et S. Braatz. (1993). Nouveau regard sur la foresterie urbaine. *Unasylva*, 44(173) [en ligne]. [www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/u9300F/u9300F00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/u9300F/u9300F00.htm) (Page consultée le 24 juillet 2009).
- Kuo, F. E. (2003). The Role of Arboriculture in a Healthy Social Ecology. *Journal of Arboriculture*, 29(3): 148-155.
- Labrecque, M. et Y. Vergriete. (2006). *Étude des biotopes urbains et périurbains de la CMM - Volet 3 : synthèse des indicateurs de rétention des eaux par les végétaux et possibilité d'application, en milieu urbain et périurbain, sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal*. Institut de Recherche en Biologie Végétale, Jardin botanique de Montréal, Montréal, 23 p.
- Lafortezza, R., G. Carrus, G. Sanesi et C. Davies. (2009). Benefits and Well-Being Perceived by People Visiting Green Spaces in Periods of Heat Stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8: 97-108.
- Leyden, K. M. (2003). Social Capital and the Built Environment: The Importance of Walkable

- Neighborhoods. *American Journal of Public Health*, 93(9): 1546-1551.
- Lin, B., X. Li, Y. Zhu et Y. Qin. (2008). Numerical Simulation Studies of the Different Vegetation Patterns' Effects on Outdoor Pedestrian Thermal Comfort. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96: 1707-1718.
- Luber, G. et M. McGeehin. (2008). Climate Change and Extreme Heat Events, *American Journal of Preventive Medicine*, 35 (5): 429-435.
- Luttik, J. (2000). The Value of Trees, Water and Open Space as Reflected by House Prices in the Netherlands. *Landscape and Urban Planning*, 48: 161-167.
- Mailhot, A., S. Duchesne, C. Larrivée, G. Pelletier, S. Bolduc, F. Rondeau, A. Kingumbi et G. Talbot. (2008). *Conception et planification des interventions de renouvellement des infrastructures de drainage urbain dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques*. Ressources naturelles Canada, Programme sur les impacts et adaptation liés aux changements climatiques, Ottawa et Consortium Ouranos, Montréal. *Rapport N° R-920*, 158 p.
- Matteo, M., T. Randhir et D. Bloniarz. (2006). Watershed-Scale Impacts of Forest Buffers on Water Quality and Runoff in Urbanizing Environment. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3): 144-152.
- McCready, J. (2004). *Ice storm 1998: Lessons Learned*. Article présenté à la 6<sup>e</sup> conférence canadienne sur la foresterie urbaine, 19-23 octobre 2004, Kelowna, B.C., Canada, 15 p.
- McDonald, A. G, W. J. Bealey, D. Fowler, U. Dragosits, U. Skiba, R. I. Smith, R. G. Donovan, H. E. Brett, C. N. Hewitt et E. Nemitz. (2007). Quantifying the Effect of Urban Tree Planting on Concentrations and Depositions of PM<sub>10</sub> in Two UK Conurbations. *Atmospheric Environment*, 41: 8455-8467.
- McPherson, E. G., D. J. Nowak et R. A. Rowntree. (1994). Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. *General Technical Report NE-186*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor, PA, États-Unis, 201 p.
- McPherson, E. G., D. Nowak, G. Heisler, S. Grimmond, C. Souch, R. Grant et R. Rowntree. (1997). Quantifying Urban Forest Structure, Function, and Value: the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems*, 1: 49-61.
- McPherson, E. G. et Simpson J. R. (2002). A Comparison of Municipal Forest Benefits and Costs in Modesto and Santa Monica, California, USA. *Urban for Urban Green*, 2(1): 61-74.
- McPherson, E. G. (2005). Trees with Benefits. *American Nurseryman*, 201(7): 34-40.
- McPherson, E. G. (2006). Getting More Than We Pay For. *City Trees*, January/February: 9-12.
- McPherson, E. G., J. R. Simpson, P. J. Peper, S. L. Gardner, K. E. Vargas et Q. Xiao. (2007). *Northeast Community Tree Guide – Benefits, Costs, and Strategic Planting*, General Technical Report, PSW-GTR-202 [en ligne]. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Center for Urban Forest Research, Davis, Californie, États-Unis, 106 p. [www.fs.fed.us/psw/](http://www.fs.fed.us/psw/) (Page consultée le 13 août 2009).
- Mochida, A. et I. Y. F. Lun. (2008). Prediction of Wind Environment and Thermal Comfort at Pedestrian Level in Urban Area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96: 1498-1527.
- Moreno, E. L., N. Bazoglu, G. Mboup et R. Warh. (2008). *The State of the World's Cities 2008/2009 – Harmonious Cities*. United Nations Human Settlements Programme, Ed. Earthscan, London-Sterling, VA, 259 p.
- Narumi, D., A. Kondo et Y. Shimoda. (2009). The Effect of the Increase in Urban Temperature on the Concentration of Photochemical Oxidants. *Atmospheric Environment*, 43: 2348-2359.
- Nowak, D. J. (1993). Atmospheric Carbon Reduction by Urban Trees. *Journal of Environmental Management*, 37: 207-217.
- Nowak, D. J. et D. E. Crane. (2002). Carbon Storage and Sequestration by Urban Trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116: 381-389.
- Nowak, D. J., J. C. Stevens, S. M. Sisinni et C. J. Luley. (2002). Effects of Urban Tree Management and Species Selection on Atmospheric Carbon

- Dioxide. *Journal of Arboriculture*, 28(3): 113-122.
- Nowak, D. J, D. E. Crane et J. C. Stevens. (2006). Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4: 115-123.
- Nowak, D. J. et J. F. Dwyer. (2007). Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. pp. 25-46 In: *Urban and Community Forestry in the Northeast*, 2<sup>nd</sup> ed. Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 487 p.
- OMS. (2009). *L'asthme bronchitique; étendue du problème*. Organisation mondiale de la santé [en ligne]. [www.who.int/mediacentre/factsheets/fs206/fr/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs206/fr/) (Page consultée le 11 août 2009).
- Oren, R. et D. Pataki. (2001). Transpiration in Response to Variation in Microclimate and Soil Moisture in Southeastern Deciduous Forests. *Oecologia*, 127: 549-559.
- Parsons, R., L. G. Tassinary, R. S. Ulrich, M. R. Hebl et M. Grossman-Alexander. (1998). The View from the Road: Implications for Stress Recovery and Immunization. *Journal of Environmental Psychology*, 18: 113-140.
- Payton, S., G. Lindsey, J. Wilson, J. R. Ottensmann et J. Man. (2008). Valuing the Benefits of the Urban Forest: a Spatial Hedonic Approach. *Journal of Environmental Planning and Management*, 51(6): 717-736.
- Pretty, J., J. Peacock, M. Sellens et M. Griffin. (2005). The Mental and Physical Health Outcomes of Green Exercise. *International Journal of Environmental Health Research*, 15(5): 319-337.
- Purenne, P. (2007). *Rapport annuel 2007 – Analyse de la qualité des eaux brutes et de l'eau traitée à la Station d'épuration et évaluation du rendement des installations*. Station d'épuration des eaux usées, Division ingénierie d'usine et de procédé, Ville de Montréal, 59 p.
- Randrup, T. B., E. G. McPherson et L. R. Costello. (2001). A Review of Tree Root Conflicts with Sidewalks, Curbs, and Roads. *Urban Ecosystems*, 5: 209-225.
- Réseau canadien de la forêt urbaine. (2009). Définitions des forêts urbaines. In : *Recueil des meilleures pratiques de gestion des forêts urbaines canadienne* [en ligne]. [www.treecanada.ca/site/?page=programs\\_urbanforestry\\_history&lang=en](http://www.treecanada.ca/site/?page=programs_urbanforestry_history&lang=en) (Page consultée le 25 août 2009).
- Robin, M., A. Matheau-Police et C. Couty. (2007). Development of a Scale of Perceived Environmental Annoyances in Urban Settings. *Journal of Environmental Psychology*, 27: 55-68.
- Sailor, D. J. (1998). Simulations of Annual Degree Day Impacts of Urban Vegetative Augmentation. *Atmospheric Environment*, 32(1): 43-52.
- Sather, I., E. Macie et D. R. Hartel (2004). Benefits and costs of the urban forest. In: *Urban Forestry Manuel (c)*, USDA Forest Service, Athens, Georgia, États-Unis, 27 p.
- Seeland, K., S. Dubendorfer et R. Hansmann. (2009). Making Friends in Zurich's Urban Forests and Parks: The Role of Public Green Space for Social Inclusion of Youths from Different Cultures. *Forest Policy and Economics*, 11: 10-17.
- Shashua-Bar, L. et M. E. Hoffman. (2000). Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street: An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees. *Energy and Buildings*, 31: 221-235.
- Sieghardt, M., E. Mursch-Radlgruber, E. Paoletti, E. Couenberg, A. Dimitrakopoulos, F. Rego, A. Hatzistathis et T. B. Randrup. (2005). The Abiotic Urban Environment: Impact of Urban Growing Conditions on Urban Vegetation. pp. 281-323 In: *Urban Forests and Trees: A Reference Book*. Konijnendijk, C., K. Nilsson, T. Randrup et J. Schipperijn, eds. Springer Berlin, Heidelberg, Allemagne, 520 p.
- Solecki, W. D., C. Rosenzweig, L. Parshall, G. Pope, M. Clark, J. Cox et M. Wiencke. (2005). Mitigation of the Heat Island Effect in Urban New Jersey. *Environmental Hazards*, 6: 39-49.
- Taylor, A. F., Kuo, F. E. et Sullivan, W. C. (2001). Coping with ADD: The Surprising Connection to Green Play Settings. *Environment and Behavior*, 33(1): 54-77.
- Timothy, R. (2003). Watershed-Scale Effects of Urbanization on Sediment Export: Assessment and Policy. *Water Resources Research*, 39(6), 1169: 13 p.

- Tiwary, A., D. Sinnett, C. Peachey, Z. Chalabi, S. Vardoulakis, T. Fletcher, G. Leonardi, C. Grundy, A. Azapagic et T. R. Hutchings. (2009). An Integrated Tool to Assess the Role of New Planting in PM<sub>10</sub> Capture and the Human Health Benefits: A Case Study in London. *Environmental Pollution*, XXX: 1-9.
- Tomasevic, M., Z. Vukmirovic, S. Rajsic, M. Tasic et B. Stevanovic. (2005). Characterization of Trace Metal Particles Deposited on Some Deciduous Tree Leaves in an Urban Area. *Chemosphere*, 61: 753-760.
- Tyrvaïnen, L. et A. Miettinen. (2000). Property Prices and Urban Forest Amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 39: 205-223.
- Tyrvaïnen, L., S. Pauleit, K. Seeland et S. de Vries. (2005). Benefits and Uses of Urban Forests and Trees. pp. 81-114 In: *Urban Forests and Trees: A reference book*. Konijnendijk, C., K. Nilsson, T. Randrup et J. Schipperijn, eds. Springer Berlin, Heidelberg, Allemagne.
- Ulrich, R. S. (1986). Human Responses to Vegetation and Landscapes. *Landscapes and Urban Planning*, 13: 29-44.
- United Nations. (2008). *Urban Population Development and the Environment Wall Chart* [en ligne]. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. United Nations Publications, New York. [www.un.org/esa/population/](http://www.un.org/esa/population/) (Page consultée le 2 août 2009).
- Vergriete, Y. et M. Labrecque. (2007). *Rôle des arbres et des plantes grimpantes en milieu urbain: Revue de littérature et tentative d'extrapolation au contexte montréalais*. Rapport pour le Conseil régional de l'environnement de Montréal. Jardin botanique de Montréal, Institut de recherche en biologie végétale, Montréal, 35 p.
- Vesely, E.- T. (2007). Green for Green: The Perceived Value of a Quantitative Change in the Urban Tree Estate of New Zealand. *Ecological Economics*, 63: 605-615.
- Ville de Baie-Comeau. (2009). Communication téléphonique, secteur des taxes municipales, le 15 août 2009.
- Ville de Drummondville. (2009) Répartition des taxes – Ancienne ville de Drummondville. In: *Ville de Drummondville – Services municipaux - Répartition des taxes* [en ligne]. [www.ville.drummondville.qc.ca/2006services/gestionfinanc/repartition.htm](http://www.ville.drummondville.qc.ca/2006services/gestionfinanc/repartition.htm) (Page consultée le 15 août 2009).
- Ville de Montréal. (2009). *Station d'épuration des eaux usées* [en ligne]. <http://services.ville.montreal.qc.ca/station/> (Page consultée le 18 août 2009).
- Ville de Montréal-Est. (2009). *Renseignements - Taxation – Nouveautés pour l'année 2009* [en ligne]. [http://ville.montreal-est.qc.ca/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25%3Ataxation&catid=11%3Arenseignements&Itemid=25&lang=fr](http://ville.montreal-est.qc.ca/site/index.php?option=com_content&view=article&id=25%3Ataxation&catid=11%3Arenseignements&Itemid=25&lang=fr) (Page consultée le 15 août 2009).
- Ville de Québec. (2009). Communication téléphonique, le 15 août 2009.
- Ville de Trois-Rivières. (2009) *Taux de taxe foncière générale pour l'ensemble du territoire – 2009* [en ligne]. [http://citoyen.v3r.net/docs\\_upload/documents/langue1/taxe/Taux\\_de\\_taxe\\_fonciere\\_generale\\_01-2009.pdf](http://citoyen.v3r.net/docs_upload/documents/langue1/taxe/Taux_de_taxe_fonciere_generale_01-2009.pdf) (Page consultée le 15 août 2009).
- Volney, W. J. et R. A. Fleming. (2000). Climate Change and Impacts of Boreal Forest Insects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82: 283-294.
- Vreeker, R. (2004). *Urban Multifunctional Land Use and Externalities*. European Regional Science Association Conference Papers - ersa04p346, Vienne, Autriche, 18 p.
- Wells, N. M. (2000). At Home with Nature: Effects of “Greenness” on Children’s Cognitive Functioning. *Environment and Behavior*, 32(6): 775-795.
- Wolf, K. L. (2003a). Freeway Roadside Management: The Urban Forest Beyond the White Line. *Journal of Arboriculture*, 29(3): 127-136.
- Wolf, K. L. (2003b). Social Aspects of Urban Forestry – Public Response to the Urban Forest in Inner-City Business Districts. *Journal of Arboriculture*, 29(3): 117-126.
- Wolf, K. L. (2004). Economics and Public Value of Urban Forests. *Urban Agriculture Magazine*, 13: 31-33.

- Wolf, K. L. (2005). Trees in the Small City Retail Business District: Comparing Resident and Visitor Perceptions. *Journal of Forestry*, 103(8): 390-395.
- Wu, J. S., C. J. Allan, W. L. Saunders et J. B. Evett. (1998). Characterization and Pollutant Loading Estimation for Highway Runoff. *Journal of Environmental Engineering*, 124(7): 584-592.
- Xiao, Q., E. G. McPherson, J. R. Simpson et S. Ustin. (1998). Rainfall Interception by Sacramento 's Urban Forest. *Journal of Arboriculture*, 24(4): 234-244.
- Xiao, Q. et E. G. McPherson (2002). Rainfall Interception by Santa Monica's Municipal Urban Forest. *Urban Ecosystems*, 6(4): 291-302.
- Yang, J., J. McBride, J. Zhou et Z. Sun. (2005). The Urban Forest in Beijing and its Role in Air Pollution Reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, 3: 65-78.
- Yang, W. et S. T. Omaye. (2009). Air Pollutants, Oxidative Stress and Human Health. *Mutation Research*, 674: 45-54.
- Yannas, S. (2001). Toward more sustainable cities. *Solar Energy*, 3: 281-294.
- Zhou, L., C. J. Tucker, R. K. Kaufmann, D. Slayback, N. V. Shabanov et R. B. Myneni. (2001). Variations in Northern Vegetation Activity Inferred from Satellite Data of Vegetation Index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research*, 106(D17): 20069.