

**VÉGÉTATION URBAINE ET INJUSTICE ENVIRONNEMENTALE À
MONTRÉAL : EXPLORATION DU CAS DE TROIS
ARRONDISSEMENTS CENTRAUX À PARTIR DE L'IMAGERIE
SATELLITAIRE À TRÈS HAUTE RÉOLUTION SPATIALE**

**Thi Thanh Hien Pham,
Philippe Apparicio,
Anne-Marie Séguin et
Martin Gagnon**

Inédit / Working paper, n° 2010-5

Centre - Urbanisation Culture Société

INRS
Université d'avant-garde

www.ucs.inrs.ca

**VÉGÉTATION URBAINE ET INJUSTICE ENVIRONNEMENTALE À
MONTRÉAL : EXPLORATION DU CAS DE TROIS
ARRONDISSEMENTS CENTRAUX À PARTIR DE L'IMAGERIE
SATELLITAIRE À TRÈS HAUTE RÉOLUTION SPATIALE**

**Thi Thanh Hien Pham,
Philippe Apparicio,
Anne-Marie Séguin et
Martin Gagnon**

Institut national de la recherche scientifique
Centre - Urbanisation Culture Société
Montréal

Juin 2010

Thi Thanh Hien Pham
Hien.pham@ucs.inrs.ca

Philippe Apparicio
Phillipe.apparicio@ucs.inrs.ca

Anne-Marie Séguin
Anne-marie.seguin@ucs.inrs.ca

Martin Gagnon
Martin.gagnon@ucs.inrs.ca

Centre - Urbanisation Culture Société
Institut national de la recherche scientifique
385, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec) H2X 1E3

Téléphone : (514) 499-4000
Télécopieur : (514) 499-4065

www.ucs.inrs.ca

Résumé

Les espaces verts, tels que les rues arborées, parcs et jardins, apportent de multiples bénéfices pour la qualité de vie intra-urbaine. Cependant, certaines études récentes démontrent que des populations défavorisées ont un accès plus limité aux espaces verts ou disposent moins de végétation dans leur quartier, soit une forme d'injustice environnementale. Ce papier a pour but de vérifier s'il existe des injustices environnementales pour les enfants, les aînées et les personnes défavorisées dans trois arrondissements centraux de Montréal (Le Plateau-Mont-Royal, Rosemont–La Petite-Patrie, Mercier–Hochelaga-Maisonneuve).

Nous avons cartographié des arbres et de l'herbe à partir de l'imagerie satellitaire (QuickBird, à 60 cm de résolution spatiale, acquise en septembre 2007) et des données spatiales relatives à l'emprise au sol des bâtiments. Avec l'aide d'une méthode basée objet, la cartographie est obtenue à une exactitude adéquate, soit 0,75 et 0,82 pour les arbres et l'herbe. Nous avons calculé la présence de végétation ainsi que sa composition en arbres et en herbe pour les aires de diffusions (AD), et ceux, pour les rues, les ruelles, les parcs et les cours dans chaque AD. Les analyses statistiques révèlent que la quantité de végétation, surtout les arbres dans les rues et les cours, varie significativement à travers les quartiers à l'étude. Les personnes à faible revenu semblent résider dans des AD comprenant en moyenne 3 % moins de végétation que la population totale. Elles sont plus présentes dans les places où la végétation est moins abondante ($R^2 = -0,34$). Or, ces inégalités sont assez faibles comparativement avec celles documentées dans certaines villes étasuniennes. La situation est plus favorable pour les personnes âgées et les enfants. Finalement, notre modèle de régression indique que la végétation tente à baisser dans les AD où il y a proportionnellement moins de maisons unifamiliales ou jumelées, de personnes âgées, mais plus de personnes à faible revenu.

Mots clés :

Télédétection, végétation urbaine, injustice environnementale

Abstract

Green spaces, such as tree-lined streets, parks and gardens, provide numerous benefits for urban quality of life. However, recent studies claim that deprived population may have a limited access to green spaces or less vegetation in their neighbourhood than affluent population, which is an environmental injustice. This paper aims at investigating if there are environmental inequalities for children, seniors and deprived people in three central boroughs of Montréal (Le Plateau-Mont-Royal, Rosemont–La Petite-Patrie, Mercier–Hochelaga-Maisonneuve).

First of all, we mapped trees and grass from satellite imagery (QuicBird images with spatial resolution of 60cm, acquired in September 2007) and building footprint data. The two classes were obtained by an object-oriented method, with an accuracy of .75 and .82, respectively. Then we computed the percentage of vegetation and the proportion of vegetation composed of trees and of grass for dissemination areas (DA), and these, for streets, alleys, parks and yards in each DA. Statistical analysis show that vegetation amount, more specifically trees along streets and in yards, varied significantly within the study area. Low-income people tend to live in DAs having less vegetation, in average, 3% less than the total population. The more there are low-income people, the less vegetation is abundant (correlation with $R^2 = -.34$). Yet, these inequalities are fairly weak comparatively with the documented cases in American cities. Children and seniors seem to have a favourable access to vegetation. Finally, our regression model indicates that vegetation seems to reduce in DAs where there are less detached and semi-detached houses, less seniors, but more low-income people.

Key Words:

Remote sensing, urban vegetation, environmental injustice

Introduction

Il est aujourd'hui largement admis que la nature en ville et plus spécifiquement les espaces verts (rues arborées, parcs, jardins) jouent un rôle crucial dans la vie urbaine moderne. À Montréal, cette vision est largement partagée par l'administration municipale : « les espaces naturels, en plus de fournir des services écologiques, sociaux et économiques d'une valeur inestimable constituent des lieux d'évasion et de tranquillité irremplaçables pour les citoyens » (Ville de Montréal, 2009). En 2004, la Ville de Montréal s'est d'ailleurs dotée d'une *Politique de protection et de mise en valeur des milieux naturels* et d'une *Politique de l'arbre*.

Cependant, les espaces verts ne sont pas toujours distribués de manière égalitaire au sein des villes, comme le constatent plusieurs études précédentes (Heynen *et al.*, 2006; Landry et Chakraborty, 2009; McConnachie et Shackleton, 2009; Pedlowski *et al.*, 2002), ce qui soulève des débats quant à l'existence d'injustices environnementales. L'objectif du présent article est d'examiner s'il existe certaines formes d'injustice environnementale au sein de certains arrondissements de Montréal, en explorant la relation entre la distribution spatiale de la végétation et certains groupes de population, notamment les enfants, les personnes âgées et les personnes à faible revenu.

LES ESPACES VERTS EN VILLE : UNE QUESTION DE QUALITÉ DE VIE ET D'INJUSTICE ENVIRONNEMENTALE

La végétation, un élément important de la qualité de vie intra-urbaine.

Récemment, beaucoup d'efforts ont porté sur l'évaluation des multiples bénéfices de la présence de la végétation urbaine, tant au niveau biophysique que socio-économique (Conway et Urbani, 2007; Heynen *et al.*, 2006; Pedlowski *et al.*, 2002; Ridder *et al.*, 2004). En effet, nombre d'études démontrent que les espaces verts permettent d'améliorer la qualité de l'environnement urbain en fournissant de l'ombrage, en réduisant les pollutions atmosphériques et sonores, en captant une partie du carbone de l'air (Jo et McPherson, 2001; Ridder *et al.*, 2004) et en contribuant à l'économie d'énergie (McPherson *et al.*, 2005). En termes de bénéfices sociaux, les recherches issues de multiples horizons constatent que la présence d'espaces verts aide à réduire le niveau de stress et contribue à l'intégration sociale chez les aînés, les enfants et les adolescents, notamment dans des villes multi-ethniques (Cackowski et Nasar, 2003; Castonguay et Jutras, 2008; Kweon *et al.*, 1998; Seeland *et al.*, 2009). D'autres auteurs confirment que la valeur des propriétés immobilières est augmentée grâce à la présence de végétation (Anderson et Cordell, 1988; Des Rosiers *et al.*, 2002; Kong *et al.*, 2007). Dans la même veine, l'Administration municipale montréalaise identifie de nombreux bienfaits des arbres en milieu urbain qu'elle regroupe en cinq grands domaines, que sont la structure du paysage, l'amélioration de la qualité de l'environnement, la contribution à la vie de quartier, la valeur économique et son importance patrimoniale (voir l'encadré 1).

Encadré 1. Liste des bienfaits de l'arbre urbain tiré de la Politique de l'arbre de Montréal

Structure le paysage

- Met en valeur les bâtiments
- Fait ressortir les monuments architecturaux et sculpturaux
- Donne du caractère à une artère
- Renforce l'orientation dans la ville

Améliore la qualité de l'environnement

- Assainit l'air en diminuant la quantité de gaz carbonique produit par les automobiles, le chauffage et les usines, et en produisant lui-même de l'oxygène
- Rafraîchit l'air par ses vapeurs d'eau
- Contrôle les eaux de ruissellement et maintient le sol en place
- Abrite une faune diversifiée
- Procure de l'ombre et des sons
- Sert d'écran sonore le long des routes bruyantes
- Diminue la réflexion lumineuse en interceptant les rayons solaires ainsi que les éblouissements produits par les phares des véhicules et les réverbères
- Influence la circulation de l'air (brise-vent)
- Capte les poussières

Contribue à la vie de quartier

- Participe à l'identité et à la qualité des quartiers
- Constitue une échelle intermédiaire entre les grands bâtiments et les piétons
- Trace une frontière végétale entre des lieux aux usages différents
- Procure de l'intimité
- Accroît la qualité de vie et le sentiment de paix
- Contribue à la socialisation et à la réduction du stress – deux facteurs qui entraînent, indirectement, une baisse de la criminalité dans les quartiers défavorisés
- Attire de nouveaux résidents
- Offre une source d'inspiration et de création

Offre une valeur économique

- Donne de la valeur aux propriétés
- Attire les entreprises qui sont à la recherche d'un milieu de vie de qualité pour leurs employés
- Fait économiser les coûts de chauffage et de climatisation

Joue un rôle patrimonial

- Témoigne, par son âge, son port ou son emplacement, du patrimoine et de l'identité culturelle et historique
- Rappelle au citoyen l'histoire de sa ville »

Source : Ville de Montréal (2009 : 12).

Le concept d'injustice environnementale appliqué à la végétation urbaine

Apparu au début des années 1990, le concept d'injustice environnementale a été mis de l'avant par des mouvements organisés par certains groupes raciaux défavorisés revendiquant le droit d'habiter des espaces non pollués. Depuis le début du siècle, il s'appuie sur un cadre théorique explicite, qui relie l'environnement, l'ethnicité, la classe sociale, le genre ainsi que les préoccupations issues de la justice sociale (Agyeman et Evans, 2004). De nos jours, le concept de justice environnementale insiste d'une part, sur la protection face à des impacts environnementaux négatifs, et d'autre part, sur la distribution des bénéfices d'un environnement sain, dans notre cas relié à la présence d'espaces verts. Récemment, Heynen *et al.* (2006) a

suggéré d'élargir le concept de justice environnementale au droit à la forêt urbaine (au sens large). À ce sujet, de nombreuses recherches démontrent que les espaces verts urbains ne sont pas distribués de manière égale dans les villes où ils existent des niveaux de ségrégation sociale ou raciale élevés. Dans certains cas observés dans les pays en développement, les gens pauvres, et surtout les populations non blanches, ont un accès plus limité aux espaces verts ou disposent de moins de végétation dans leur quartier. C'est le cas dans l'État de Rio de Janeiro (Pedlowski *et al.*, 2002), ou dans les villes de petite taille en Afrique du Sud (McConnachie et Shackleton, 2009).

Cela dit, plusieurs auteurs ont formulé des constats similaires quant à l'existence d'injustice environnementale au sein des pays développés. Depuis les années 1980, de nombreux chercheurs étatsuniens s'intéressent à la relation entre le statut socio-économique et la végétation (Grove *et al.*, 2006). Par exemple, Hope *et al.* (2003) et Martin *et al.* (2004) soulignent le poids important du statut socioéconomique et de l'âge du quartier dans la diversité de la végétation dans la zone urbaine de Phoenix (AZ). Ces auteurs démontrent en effet que plus le statut économique est élevé et plus la période de construction du quartier est récente, plus il y a de la végétation en termes de quantité et de diversité (en termes du nombre d'espèces d'arbre). Quant à Iverson et Cook (2000), ils observent à Chicago (IL) une corrélation positive entre le revenu et la part de l'espace public et privé consacré aux arbres, mais non avec la pelouse. Landry and Chakraborty (2009) se penchent plus spécifiquement sur la faible présence de rues arborées dans les quartiers de Tampa (FL) où résident la communauté noire, les personnes à faible revenu et les locataires. De même, Heynen *et al.* (2006) rapportent que le groupe des hispanophones et les personnes à faible revenu de la ville de Milwaukee (WI) disposent de moins d'arbres dans leur voisinage, ce qui s'explique en partie, selon eux, du fait de la situation financière difficile de ces populations et le désinvestissement du marché immobilier dans certains quartiers. Ils soulignent donc le rôle des politiques publiques dans la plantation et conservation des arbres sur des terrains privés. D'autres chercheurs vont dans le même sens, tels que Grove *et al.* (2006) qui suggèrent d'examiner les motivations des résidents, le type de propriété (collectif ou individuel) et la capacité financière tant au niveau des municipalités qu'au niveau des individus afin de mieux comprendre le lien entre la quantité de végétation urbaine et les caractéristiques socio-économiques.

Au Canada, Conway et Urbani (2007) cherchent à savoir si les programmes publics et non gouvernementaux de conservation des arbres varient entre les municipalités de la métropole torontoise. Ils constatent que les municipalités actives (en termes de conservation et de plantation d'arbres) sont les plus peuplées, urbanisées et nouvellement développées, mais pas nécessairement celles avec les valeurs foncières les plus élevées.

D'autres études concluent à des résultats contradictoires quant à l'existence d'injustice environnementale. Par exemple, une étude menée à Sheffield en Angleterre démontre que, les

familles défavorisées résident plus près des parcs publics que les familles plus nanties. La distance moyenne observée s'avère toutefois supérieure à la norme souhaitée par le gouvernement britannique¹ (Barbosa *et al.*, 2007).

À l'exception de cette étude anglaise, la plupart des auteurs s'entendent sur le fait que les groupes de population défavorisés ont souvent un accès plus limité aux espaces verts de bonne qualité, tant en terme d'abondance que de diversité de végétation, ce qui constitue une injustice environnementale. Or, son intensité varie d'une ville à l'autre, dépendamment de nombreux facteurs comme le niveau socioéconomique, les types de logements et de propriété foncière et les programmes d'entretien de la végétation. Par conséquent, nous désirons vérifier si un tel constat s'applique également au cas montréalais.

Notons aussi que dans les études précédemment citées, les approches méthodologiques varient grandement, et ce, tant du point de vue des variables explicatives que de la variable dépendante (la végétation). Les variables indépendantes (explicatives) utilisées relèvent le plus souvent du statut économique ou de la gestion municipale. À quelques exceptions près, comme Barbosa *et al.* (2007), la dimension physico-spatiale du milieu urbain, notamment la nature des bâtiments résidentiels et la structure urbaine ne sont pas prises en compte. Cette dimension pourrait être un facteur à considérer pour expliquer la distribution de la végétation, ne serait-ce que parce que la quantité d'espace « végétalisable » varie d'un endroit à l'autre. C'est un facteur dont nous cherchons à mesurer l'effet dans le présent article, et ce, en recourant à la variable décrivant les types de logements (maison unifamiliale, duplex, appartement dans un immeuble de moins de cinq étages, etc.).

Quant à la variable dépendante, la végétation, elle est opérationnalisée bien différemment selon les études : le nombre d'espèces d'arbres par quartier (Hope *et al.*, 2003; Martin *et al.*, 2004), la quantité d'espaces verts (avec et sans portions minéralisées) (Barbosa *et al.*, 2007; McConnachie et Shackleton, 2009), la proportion de l'espace couvert par la végétation (Conway et Urbani, 2007; Grove *et al.*, 2006) ou plus spécifiquement en distinguant les arbres de la pelouse (Heynen *et al.*, 2006; Iverson et Cook, 2000; Landry et Chakraborty, 2009). Dans les trois derniers cas, il s'agit d'informations obtenues à partir de traitements de données de télédétection.

Mesurer la végétation à partir de la télédétection

La télédétection constitue une source riche d'informations pour la cartographie de la végétation urbaine. En particulier, l'indice de végétation NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) calculé à partir des données de télédétection est utilisé de manière répandue (Conway et Urbani,

¹ Cette distance est de 300 mètres.

2007; Lee *et al.*, 2008; Leslie *et al.*, 2010). Les indices de végétation tels le NDVI permettent d'identifier les pixels d'image correspondant à des surfaces comprenant de la végétation, mais ils ne fournissent pas d'informations relatives aux types de végétation (arbre, herbe, etc.).

Or, l'identification des différentes formes de végétation est très importante pour diverses raisons. Du point de vue écologique, les arbres et l'herbe contribuent différemment à la performance écologique du milieu urbain (Freeman et Buck, 2003; Mathieu *et al.*, 2007b). Par exemple, les arbres procurent davantage d'effets positifs sur la réduction de température, la séquestration du carbone et la conservation de la biodiversité (McPherson *et al.*, 2005; Witford *et al.*, 2001). De plus, pour expliquer la variation dans la végétation à l'intérieur des quartiers ou encore la différence entre l'abondance de végétation et sa perception par la population, des cartes présentant différents types de végétation pourraient être plus informatives qu'une seule carte avec un indice de végétation comme le NDVI (Conway et Urbani, 2007; Leslie *et al.*, 2010). Il est donc primordial de cartographier les formes de végétation urbaine à une échelle fine. On privilégie habituellement les images de très haute résolution spatiale pour la cartographie détaillée de la végétation urbaine ou des espaces verts.

Deux approches de traitements d'images sont souvent utilisées pour cartographier la végétation urbaine (la synthèse des études est présentée dans le tableau 1). La première approche est basée essentiellement sur l'interprétation visuelle et la numérisation manuelle de la végétation par les experts. Bien que cette approche produise une bonne précision, elle est subjective, laborieuse et coûteuse comme le soulignent certains auteurs (Akbari *et al.*, 2003; Freeman et Buck, 2003).

La seconde approche repose sur l'analyse d'image orientée objet. Le premier travail portant sur la classification par objet visait l'adaptation à la télédétection d'une méthode appelée ECHO (*Extraction and Classification of Homogenous Objects*) (Kettig et Landgrebe, 1976). Ces auteurs supposent que, dans les cas où la taille de l'objet est plus grande que la taille des pixels, la classification basée sur les statistiques des pixels indépendants peut être faussée. Ces dernières années, cette approche s'est développée rapidement et elle est maintenant devenue un nouveau champ de recherche appelée *Object Based Image Analysis* (OBIA) ou *Geographic Object Based Image Analysis* (GeoBIA) (Hay et Castilla, 2008).

De nombreux chercheurs utilisent cette approche pour classier les photographies aériennes ou les images satellitaires optiques afin d'identifier différents types de végétation urbaine (Damm *et al.*, 2005; Kampouraki *et al.*, 2008; Mathieu *et al.*, 2007a; Tunay *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2009). La plupart d'entre eux réussissent à distinguer deux ou trois types de végétation, soit les arbres, l'herbe et les arbustes. D'autres auteurs montrent la possibilité de distinguer plus de classes de végétation. C'est notamment le cas de Damms *et al.* (2005) qui en identifient quatre dans une zone autour d'une voie ferrée, et de Mathieu *et al.* (2007a) qui en classifient dix en fonction des

caractéristiques écologiques. En termes de précision, avec l'approche objet, les auteurs obtiennent une exactitude relativement bonne pour les classes *arbre* et *herbe* (de 0,63 à 0,90), mais plus faible pour les arbustes (environ 0,30 à 0,40), du fait de leur similarité en termes de réponse spectrale avec les arbres et l'herbe.

Tableau 1 : Synthèse des études de cartographie de la végétation urbaine

Auteurs	Méthodes	Classes obtenues	Sources et résolution	Exact. producteur/ d'utilisateur (sur 1)
Freeman et Buck (2003)	Manuelle	Habitats de végétation	Photo aérienne (résolution non disponible)	Non disponible
Akbari <i>et al.</i> (2003)	Manuelle Extrapolation	Arbres Herbe	Photo aérienne (30 cm)	Non disponible
Tunay <i>et al.</i> (2007)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Agriculture Végétation urbaine	Ikonos	Agriculture: 0,78* Végétation urbaine: 1,00*
Mathieu <i>et al.</i> (2007a)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Habitats de végétation	Ikonos	Arbres: 0,63/0,70 Arbustes: 0,49/0,59 Herbe: 0,66/0,9
Mathieu <i>et al.</i> (2007b)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Jardins privés	Ikonos	Jardins 1: 0,52/0,62 Jardins 2: 0,51/0,49 Jardins 3: 0,63/0,64
Damm <i>et al.</i> (2005)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Arbres et arbustes Végétation sur les rails, herbe	QuickBird	Arbres et arbustes: 0,64* Herbe: 0,84* Végétation sur rails: 0,73*
Kampouraki <i>et al.</i> (2008)	Semi-automatisée (<i>eCognition</i>)	Mixte, arbres	Photo aérienne (12,5 cm)	Non disponible
Yang <i>et al.</i> (2009)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Arbres/arbustes Herbe	Photo aérienne (16 cm)	Non disponible
Zhou et Troy (2008)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Végétation fine Végétation contrastée	Photo aérienne (30cm) et LiDAR	Végétation fine: 0,94/0,98 Végétation contrastée: 0,94/0,95
Lovan <i>et al.</i> (2007)	Automatisée	Arbres Herbe	Photo aérienne DSM (20cm)	Canopée: 0,64* Herbe: 0,97*
Delm et Gulinck (2009)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Haies /arbustes /conifères Arbres (feuillus) Herbe	Ikonos, Hauteur des objets (par GPS)	Haies /arbustes / conifères 0,27/0,15 Arbres feuillus : 0,61/0,72 Herbe: 0,27/0,27
Voss et Sugumaran (2008)	Automatisée (<i>eCognition</i>)	Espèces d'arbres	Hyperspectral (2 m) LiDAR	Total (en été): 0,56* Total (en automne): 0,59*

* : Seule la précision globale est documentée.

C'est pour cette raison que durant la procédure d'analyse d'image, plusieurs chercheurs intègrent l'altitude qui est extraite à partir des données LiDAR ou des mesures GPS (Delm et Gulinck, 2009; Lovan *et al.*, 2007; Voss et Sugumaran, 2008; Zhou et Troy, 2008). À l'exception de Zhou et Troy (2008) qui classifient la végétation en deux classes en fonction de leur texture, les autres auteurs essaient d'identifier la végétation à une échelle plus fine : différentes formes de végétation, la canopée des arbres (Lovan *et al.*, 2007) ou les espèces d'arbres (Voss et

Sugumaran, 2008). Comme les classes obtenues ne sont pas identiques d'une étude à l'autre, il est difficile de comparer l'exactitude des classifications; toutefois, l'exactitude globale ne dépasse pas 0,75.

La revue de littérature nous suggère qu'il est prometteur de cartographier les différentes formes de végétation (arbres, arbustes, herbes et/ou mixte) à partir des images de très haute résolution et d'une méthodologie orientée objet. Notons finalement qu'au point de vue opérationnel, ces études basées sur l'approche objet utilisent le logiciel *eCognition*. Or, il est à noter que ce logiciel a reçu certaines critiques concernant l'exigence de l'intégration de plusieurs paramètres lors de l'étape de segmentation (voir la section 3.2 pour plus de détails).

Question de recherche et hypothèses

À la lumière de la revue de littérature démontrant que l'existence d'injustices environnementales dans certaines villes américaines, nous formulons deux questions de recherche empiriques : existe-t-il des injustices environnementales pour les enfants, les personnes âgées et celles défavorisées à Montréal quant à l'accès à la végétation ? Quelles sont les caractéristiques des milieux associés à la présence de la végétation tant dans ses formes qu'en termes de quantité ?

Des études antérieures, notamment Apparicio *et al.* (2008) à partir d'un indice de végétation NDVI construit à l'aide d'une image ETM+ de Landsat, ont démontré que la végétation suit à gradient centre-périphérie. Globalement, la végétation est moins présente dans les quartiers centraux qu'en périphérie. Or, la population à faible revenu est concentrée avant tout dans les quartiers centraux (Apparicio *et al.*, 2007), tandis que les personnes âgées et les enfants sont plus présents dans les quartiers périphériques (Apparicio *et al.*, accepté moyennant modifications; Séguin *et al.*, 2008). Par conséquent, relativement à la première question de recherche, on peut supposer si injustices environnementales il y a, elles s'appliquent uniquement au groupe des personnes à faible revenu.

Concernant la seconde question de recherche, deux hypothèses peuvent être formulées. Premièrement, les caractéristiques du bâti résidentiel risquent d'être fortement associées à la présence de la végétation tant dans ses formes qu'en termes de quantité : on peut supposer que la végétation est plus présente dans un tissu résidentiel composé de maisons individuelles que dans un tissu avec des duplex, triplex ou multiplex. Deuxième hypothèse, il est probable aussi que les caractéristiques socioéconomiques soient associées avec la quantité de végétation telle que montrée dans des études antérieures (Heynen *et al.*, 2006; Iverson et Cook, 2000; Landry et Chakraborty, 2009; Martin *et al.*, 2004; Pedlowski *et al.*, 2002).

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'espace d'étude

L'étude porte sur trois arrondissements centraux de la Ville de Montréal – Le Plateau-Mont-Royal (PMR), Rosemont–La Petite-Patrie (RPP), Mercier–Hochelaga-Maisonneuve (MHM) – comprenant chacun trois quartiers et s'étendant sur 50 km² (figure 1). L'achat d'image satellite à très haute résolution (THR) étant relativement coûteux, nous avons décidé de limiter notre espace d'étude à ces trois arrondissements afin de valider l'approche méthodologique. Si les résultats sont concluants, nous allons acquérir des images THR couvrant l'ensemble du territoire de l'île de Montréal. Signalons toutefois des analyses préliminaires, notamment la construction d'un indice NDVI à partir d'une image ETM de Landsat 7, ont démontré qu'il existe des variations de végétation au sein de ces trois arrondissements (Apparicio *et al.*, 2008).

En 2006, 363 786 habitants résidant dans notre espace d'étude, soit près de 20 % de la population totale de l'île de Montréal. La densité de population y est d'ailleurs assez élevée avec plus de 7 350 habitants au km² (tableau 2). Notons toutefois que la densité populationnelle varie de manière importante entre les neuf quartiers : dans les trois quartiers de l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal, elle est supérieure à 11 000 habitants tandis qu'elle est inférieure à 6 000 habitants dans trois quartiers plus à l'est, soit Rosemont Est (5 199), Mercier Ouest (3 476) et Mercier Est (5 808). Il est donc probable que ces variations de densité de population et de logements contribuent à des variations de végétation entre ces quartiers tant au niveau de la quantité que des formes de végétation.

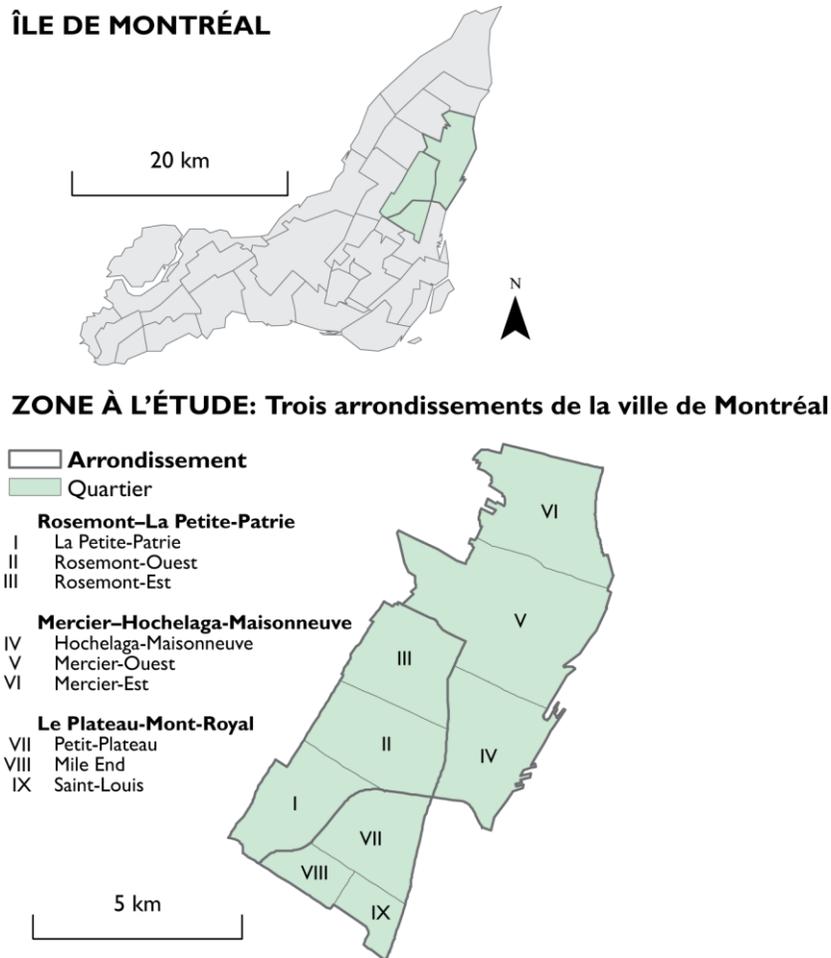


Figure 1 : Espace d'étude

Tableau 2 : Population, logements et ménages dans l'espace d'étude en 2006

Arrondissement ou quartier	Km ²	En nombre			Densité au km ²		
		Population	Logements	Ménages	Population	Logements	Ménages
Rosemont–La Petite-Patrie	15,9	133 622	73 182	70 083	8 413	4 608	4 412
La Petite-Patrie	4,9	49 052	27 158	25 817	9 995	5 534	5 261
Rosemont Est	5,2	27 211	14 583	14 038	5 199	2 786	2 682
Rosemont Ouest	5,7	57 359	31 441	30 228	9 990	5 476	5 265
Mercier–Hochelaga-Maisonneuve	25,5	129 110	65 195	62 691	5 070	2 560	2 462
Hochelaga-Maisonneuve	6,4	46 175	25 021	23 831	7 164	3 882	3 698
Mercier Ouest	11,8	41 044	20 362	19 699	3 476	1 724	1 668
Mercier Est	7,2	41 891	19 812	19 161	5 808	2 747	2 657
Le Plateau-Mont-Royal	8,1	101 054	61 861	56 015	12 401	7 592	6 874
Petit Plateau	4,6	51 315	31 089	29 292	11 191	6 780	6 388
Mile End	1,8	24 076	12 704	11 809	13 300	7 018	6 523
Saint-Louis	1,8	25 663	18 068	14 914	14 640	10 307	8 508
Ensemble de l'espace d'étude^a	49,5	363 786	200 238	188 789	7 350	4 045	3 814

^a Les trois arrondissements. Source : recensement de Statistique Canada, 2006.

Mentionnons que les populations résidant dans les neuf quartiers affichent des profils sociodémographiques quelque peu différents. En effet, la présence des aînés (65 ans et plus) est plus marquée dans les quartiers de l'est (Rosemont-Est, Mercier-Est et Mercier-Ouest) alors que les personnes à faible revenu sont proportionnellement plus nombreuses dans Hochelaga-Maisonneuve, La Petite-Patrie et Saint-Louis (figure 2). Par contre, la présence d'enfants varie moins à travers les neuf quartiers (voir les résultats des analyses de variance au tableau 3). En outre, le loyer moyen brut varie le plus entre les neuf quartiers ($R^2 = 0,304$); les aires de diffusion affichant les valeurs les plus élevées étant localisées dans les quartiers de l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal (figure 2). On observe aussi des variations significatives relatives aux types de logements présents dans les différents quartiers; par exemple, les maisons individuelles sont bien plus présentes dans l'est de la zone d'étude (voir la figure 2 et le tableau 3).

Tableau 3 : Analyse de variance des indicateurs socio-économiques

Variabiles	R²	F de Fisher
Enfants de moins de 15 ans (%)	0,181	17,37
Personnes de 65 ans et plus (%)	0,216	21,64
Personnes à faible revenu (%)	0,202	19,94
Loyer moyen brut (\$)	0,304	34,33
Locataires (%)	0,207	20,55
Maisons individuelles (%)	0,160	14,97
Maisons jumelées (%)	0,143	13,10
Maisons en rangée (%)	0,025	1,98 ^a
Appartements dans un duplex (%)	0,191	18,53
Appartements dans un immeuble de moins de cinq étages (%)	0,223	22,62
Appartements dans un immeuble de plus de cinq étages (%)	0,131	11,81

Variable qualitative : quartiers (N=9). ^a À l'exception de cette valeur, toutes les valeurs de F sont significatives avec $p < 0,001$.

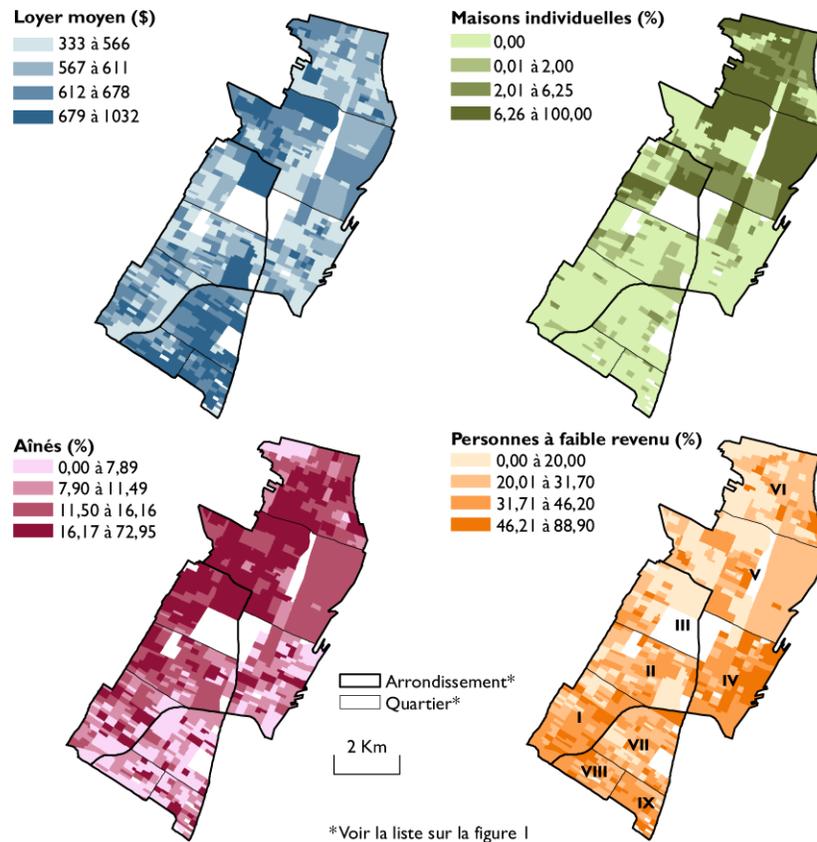


Figure 2 : Distribution des variables socio-économiques et relatives au bâti résidentiel

Les données SIG et satellitaires

Pour répondre à nos questions de recherche, nous avons recours à trois jeux de données : 1) des données satellitaires issues du capteur QuickBird afin d'identifier les formes de végétation, notamment les arbres et l'herbe; 2) des données urbaines qui sont, d'une part, intégrées dans le processus de classification des images QuickBird, et, d'autre part, croisées avec les différentes formes de végétation; 3) et finalement, des données socioéconomiques et relatives au logement issues du recensement de 2006 afin de vérifier l'existence d'injustices environnementales quant à la présence des différentes formes de végétation.

LES DONNÉES SATELLITAIRES

Nos données satellitaires comprennent deux images QuickBird acquises en septembre 2007 avec une résolution spatiale de 2,4 mètres pour les bandes multispectrales et de 60 cm pour la bande panchromatique. Les bandes ont été fusionnées à la résolution de 60 cm avec l'outil *Pansharp* du logiciel PCI (version 10.3), la technique la mieux adaptée aux images QuickBird (Zhang, 2002).

Puis, nous avons procédé à une orthorectification des images à l'aide de la carte des bâtiments (voir la section suivante) dans le module *OrthoEngine* du logiciel PCI et ce, en nous basant sur 49 points de contrôle². À partir de ces données satellitaires, nous pourrions ainsi identifier les différentes formes de végétation dans notre espace d'étude.

LES DONNÉES URBAINES

Trois couches de données de la Ville de Montréal (2003) sont utilisées à des fins différentes : les couches délimitant les bâtiments, les lots et les îlots tel qu'illustré la figure 3. La carte des bâtiments est utilisée dans le processus de segmentation d'image qui sera détaillé ultérieurement. À partir des couches des lots et îlots, nous avons extrait les parcs, les rues, les ruelles et les cours (privés). Ces extractions seront par la suite croisées avec la carte des types de végétation issue de la classification d'image. Nous pourrions ainsi estimer la part de la végétation et sa composition (arbres, herbe et mixte) au sein des parcs, rues, ruelles et cours.

DONNÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES

Les indicateurs relatifs aux formes de végétation sont agrégés au niveau des aires de diffusion (une entité spatiale comprenant en moyenne 600 habitants) du recensement de 2006 de Statistique Canada. Nous pourrions ainsi les mettre en relation avec plusieurs variables socioéconomiques et relatives aux logements. Parmi les variables retenues, signalons :

- Les populations totale, jeune (moins de 15 ans) et âgée (65 ans et plus);
- Plusieurs variables socioéconomiques, à savoir la population à faible revenu, le revenu médian des ménages, et le loyer brut moyen;
- Des variables relatives aux types de construction des logements (maison unifamiliale, maison jumelée, maison en rangée, logement dans un duplex, appartement dans un immeuble de cinq étages et plus et appartement dans un immeuble de moins de cinq étages).

Notre évaluation de l'injustice environnementale vise trois groupes de populations : ceux des personnes à faible revenu, des jeunes et des personnes âgés. Mentionnons que l'évaluation de l'injustice environnementale relative à la végétation pour ce dernier groupe constitue une nouveauté comparativement aux études antérieures. Nous avons jugé pertinent de retenir ce groupe de population, puisque les personnes âgées sont très vulnérables aux îlots de chaleur en raison surtout du manque de végétation (Canouï-Poitrine *et al.*, 2006; Luber et McGeehin, 2008; O'Neill *et al.*, 2009).

² Les erreurs XRSM et YRSM sont respectivement de 2,5 m et de 2,2 m. L'orthorectification a été réalisée à partir de la fonction rationnelle Toutin, T., R. Chénier et Y. Carbonneau. 2002. «3D models for high resolution images: examples with Quickbird, Ikonos and Eros». Dans *ISPRS, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications* (Ottawa, July 9-12), p.547-551.

Traitement d'image : le recours à l'approche orientée objet

Nous avons utilisé une analyse orientée objet pour extraire les classes de végétation des images. Cette approche est basée sur la création des objets – c'est-à-dire sur la segmentation – et sur l'utilisation d'informations géométriques, contextuelles et sémantiques pour la classification des objets. La démarche d'analyse de l'image (figure 4) est réalisée de manière à simuler l'interprétation visuelle de l'humain (Baatz *et al.*, 2004; Steinwendner *et al.*, 2001). Autrement dit, il s'agit, dans un premier temps, d'identifier les objets (la segmentation), puis de les classifier (l'étape de classification), deux démarches qui seront décrites ci-dessous.



Figure 3 : Données urbaines utilisées

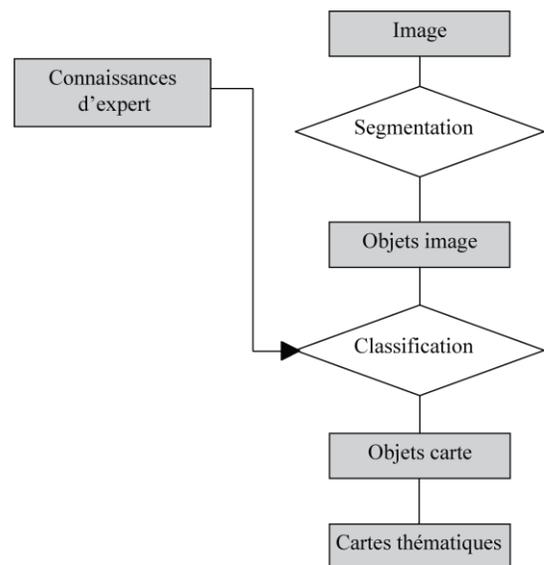


Figure 4 : Modèle conceptuel de l'approche orientée objet adapté de Steinwendner *et al.* (2001, p.340)

LA SEGMENTATION

La segmentation vise à créer des objets homogènes dans *eCognition* 8.1 à l'aide d'un algorithme minimisant l'hétérogénéité globale des objets. L'algorithme est une fonction de plusieurs paramètres qui sont définis par l'utilisateur pendant la segmentation : l'échelle, les bandes, la pondération entre la couleur et la forme et celle entre la compacité et le lissage. Cependant, l'algorithme ainsi que les effets d'interaction des paramètres ne sont pas documentés dans le guide du logiciel, fait déploré dans plusieurs travaux récents (Caprioli et Tarantino, 2003; Flanders *et al.*, 2003; Sugumaran et Voss, 2007).

L'échelle représente la taille des objets à extraire, par exemple nous avons segmenté les images à deux échelles, soit 50 et 15³, et, pour chaque échelle, nous avons utilisé les mêmes paramètres de couleur et de compacité. Le niveau de segmentation le plus grossier (échelle 50) visait à extraire de grands groupes d'arbres ou d'importantes surfaces d'herbe. Les mêmes images ont été segmentées à une échelle plus fine (échelle 15) pour séparer les arbustes et l'herbe du sol nu.

Au niveau des bandes utilisées, nous avons procédé aux segmentations sur les quatre bandes originales, la carte des bâtiments et la bande d'indice modifié de végétation ajusté pour le sol (MSAVI) tel que recommandé par Delm et Gulink (2009) pour les milieux urbains. La bande MSAVI a été calculée avec l'équation suivante (Qi *et al.*, 1994) :

$$MSAVI_2 = \frac{2\rho_{PIR} + 1 - \sqrt{(2\rho_{PIR} + 1)^2 - 8(\rho_{PIR} - \rho_{ROUGE})}}{2} \quad [1]$$

où ρ_{PIR} et ρ_{ROUGE} sont respectivement la réflectance des bandes proche-infrarouge et rouge.

LA CLASSIFICATION

Une fois l'étape de segmentation réalisée, il est alors possible de classifier les objets ainsi obtenus. Pour ce faire, deux méthodes de classification sont habituellement utilisées et disponibles dans le logiciel *eCognition*, à savoir le plus proche voisin et la fonction d'appartenance. L'approche du plus proche voisin exige que l'utilisateur choisisse des zones d'entraînement. Le programme calcule ensuite les caractéristiques de ces zones pour définir des classes d'intérêt. Cette approche est simple et elle donne rapidement une évaluation globale des classes de l'image. Cependant, il n'est recommandé d'utiliser cette approche que dans le cas où la classe peut être distinguée par un ou peu d'attributs (Baatz *et al.*, 2004). Dans une étude récente, Platt et Rapoza (2008) montrent que l'exactitude produite par la méthode du plus proche voisin est nettement inférieure à celle produite par l'approche d'appartenance (0,61 et 0,71 respectivement) (Platt et Rapoza, 2008). L'approche d'appartenance utilise une fonction indiquant la probabilité que l'objet appartienne à une classe en se basant sur les attributs de l'objet. L'application de la fonction débouche sur un taux d'appartenance de l'objet à chaque classe. Le type de fonction ainsi que les attributs de la fonction sont choisis par l'utilisateur. Cette approche exige une bonne connaissance de la zone d'étude par l'utilisateur et est donc appelée méthode basée sur l'expertise. Il y a trois groupes d'attributs d'objets que nous pouvons utiliser pour créer des règles de classification :

³ L'échelle est choisie en fonction des tailles des pixels de l'image et des objets que nous souhaitons identifier. Nous avons opté pour les valeurs de 15 et 50 après avoir fait des tests empiriques de segmentation.

- Les attributs intrinsèques (couleur⁴, géométrie⁵, forme⁶, texture⁷, etc.);
- Les attributs topologiques (position par rapport à d'autres objets);
- Les attributs contextuels (objet défini par son environnement; par exemple, selon les connaissances de l'analyste sur la zone d'étude⁸).

Dans le cadre de cette étude, nous avons privilégié la fonction d'appartenance en utilisant à la fois les objets obtenus à partir d'une échelle grossière (50) et ceux d'une échelle fine (15) et en définissant plusieurs règles d'appartenance (figure 5).

Notons aussi qu'avec le logiciel *eCognition*, il est possible de définir une hiérarchie des classes et d'établir des relations entre elles. Ces relations peuvent être verticales (classe mère et fille) ou horizontales (différentes classes-filles). De plus, une fois que la hiérarchie est définie, elle peut être utilisée dans d'autres travaux similaires portant sur l'extraction des objets à partir d'une image (Kux et Araújo 2008). La hiérarchie de classification dans ce papier est illustrée dans la figure 5. Les classes facilement identifiables sont situées au niveau le plus haut dans la hiérarchie et sont nommées habituellement les classes mères (par exemple, sur la figure 5, « Texture fine » est la classe mère de deux classes « Herbe 1 » et « Mixte 1 »). En revanche, les classes difficilement identifiables exigent plus de règles de classification et elles sont présentes dans des niveaux plus bas de la hiérarchie. Cette façon de définir la relation entre les classes facilite le transfert des règles de classification entre les classes-mères et les classes-filles. Par exemple, « Herbe 1 » est définie par deux règles : texture homogène (Texture homogène 1 > 0,048) héritée par sa classe mère « Texture fine », et superficie importante (Superficie > 2000 pixels). Les règles utilisées sont présentées en rouge dans la figure 5; elles sont basées uniquement sur des attributs intrinsèques (couleur, texture et géométrie). Au final, plusieurs classes d'herbes, d'arbres et mixtes ont été identifiées (figure 5), puis agrégées en trois classes terminales : *arbre*, *herbe* et *mixte*.

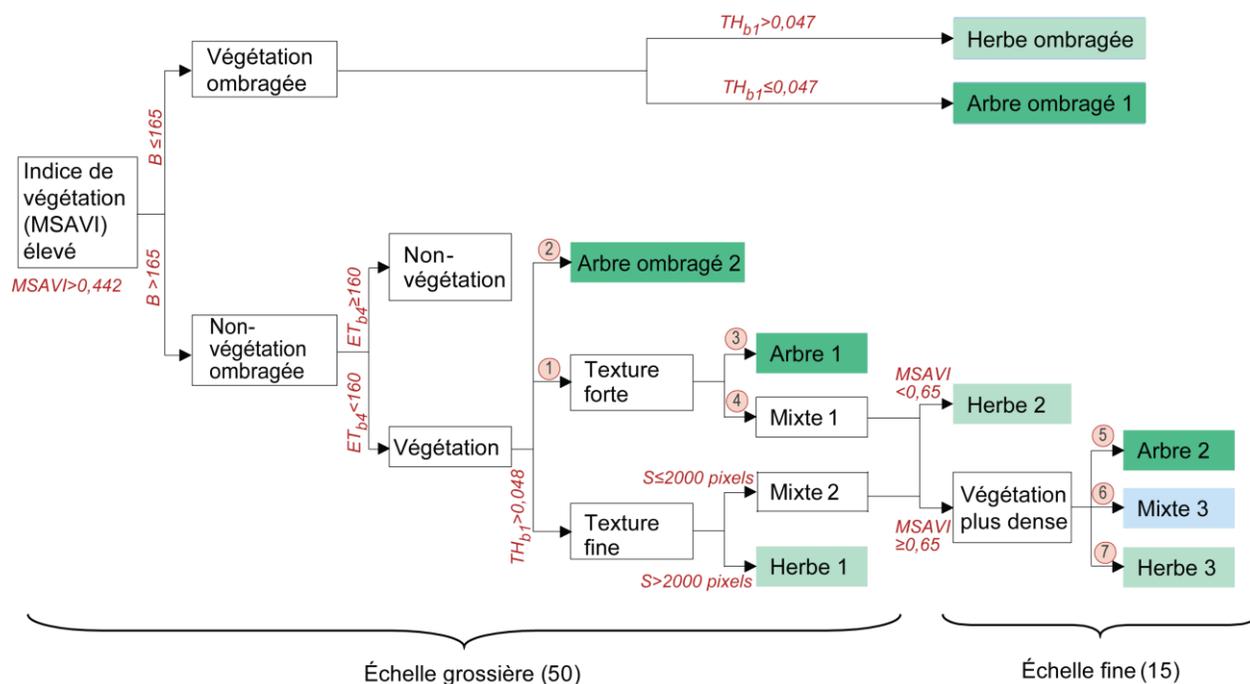
⁴ Brillance, valeur moyenne, écart-type, etc.

⁵ Superficie, périmètre, volume, etc. compacité, courbure, etc.

⁶ Compacité, densité, direction principale, etc.

⁷ Entropie, homogénéité, contraste, etc.

⁸ Par exemple, nous pourrions définir la règle suivante utilisant un attribut contextuel : si un objet *A* de grande taille fortement minéralisé est adjacent à un objet *B* de grande taille classifié comme bâtiment, *A* sera classifié comme stationnement.



Définition des règles des classes

- | | |
|--|---|
| ① $TH_{b1} \leq 0,048$ et $B < 500$ et $CS = [-0,394; -0,154]$ | ⑤ $B = [150; 274]$ et $TH_{b1} \leq 0,026$ et $MSAVI > 0,734$ |
| ② $Objet \neq texture\ forte\ et\ texture\ fine$ | ⑥ $Objet \neq Arbre\ 2\ et\ TH_{b1} > 0,042$ |
| ③ $MSAVI < 0,68$ et $CS < -0,297$ et $ET_{b3} > 15$ | ⑦ $Objet \neq Arbre\ 2\ et\ Mixte\ 3$ |
| ④ $Objet \neq Arbre\ 1$ | |

Note : MSAVI = indice de végétation; TH_{b1} = texture homogène sur la bande 1; B = brillance; CS = couleur du sol; ET = écart-type; S = Superficie.

Figure 5 : Démarche de classification

Notons que l'indice de couleur du sol a été calculé avec l'équation suivante (Mathieu *et al.*, 1998) :

$$Couleursol = \frac{\rho ROUGE - \rho VERT}{\rho ROUGE + \rho VERT} \quad [2]$$

où $\rho ROUGE$ et $\rho VERT$ sont respectivement la réflectance des bandes rouge et verte.

Afin de valider le résultat de la classification automatisée, nous avons réalisé une interprétation visuelle, soit une numérisation manuelle des types de végétation : groupes d'arbres, herbe, arbustes, mixte, arbres ombragés et herbe ombragée. La superficie de la numérisation est à l'ordre de 0,87 km², soit 1,8 % totale de la superficie des trois arrondissements à l'étude, ce qui est suffisant pour une bonne validation (Congalton, 1991). Toutefois, à cause des confusions importantes entre les arbustes et la classe *mixte* sur les images satellites, nous avons fusionné les six types en trois catégories : *arbre*, *herbe* et *mixte*.

Nous avons ensuite créé une matrice de confusion en croisant la numérisation manuelle avec la classification automatisée. Deux taux d'exactitude descriptifs ont été calculés, soit l'exactitude du producteur (*producer accuracy*) et de l'utilisateur (*user accuracy*) pour chaque classe [eq. 3 et 4]; ainsi que l'exactitude globale de toute la classification.

$$E_{\text{producteur}} = \frac{S_{\text{chev}}}{S_{\text{numérisation}}} \quad [3]$$

$$E_{\text{utilisateur}} = \frac{S_{\text{chev}}}{S_{\text{classification}}} \quad [4]$$

Où S_{chev} est la superficie de chevauchement pour une classe donnée, soit la partie commune entre les zones de validation numérisée et l'image classifiée;

$S_{\text{numérisation}}$ est la superficie de la classe d'objets i délimités par l'interprétation visuelle;

et $S_{\text{classification}}$ est la superficie de la classe d'objets i obtenus par la classification automatique.

L'exactitude du producteur indique la probabilité qu'un pixel de référence (validation) soit correctement classifié par la méthode automatisée. L'exactitude de l'utilisateur indique la probabilité d'un pixel classifié par la méthode automatisée représente la même classe sur le terrain (Jensen, 2005).

Analyses statistiques

Nous allons d'abord vérifier si la présence de différents types de végétation (arbre, herbe et mixte) varie de façon significative selon les quartiers en utilisant une analyse de variance (ANOVA). Puis, trois types d'analyses seront réalisées dans le logiciel SAS 9.2 pour évaluer l'injustice environnementale : 1) des statistiques univariées sur les indicateurs de végétation obtenus pour chaque aire de diffusion et pondérées par les trois populations cibles (enfants, personnes âgées, population à faible revenu), 2) des analyses de corrélation entre les indicateurs socioéconomiques et de végétation et 3) des régressions linéaires classiques.

RÉSULTATS

Classification des images

La segmentation à deux échelles (avec les paramètres mentionnés dans la section méthodologique) et la classification sont illustrées à la figure 6. Nous avons obtenu trois classes de végétation avec un taux d'exactitude global de 0,75. Les classes *arbre* et *herbe* sont obtenues avec une exactitude de l'utilisateur de respectivement 0,75 et 0,82 (tableau 4). La classe *mixte* présente plusieurs confusions avec les deux autres, sa précision étant par conséquent plus faible (0,20). En comparaison avec des précédentes études qui utilisent uniquement les images optiques, notre exactitude est meilleure pour les arbres et équivalente pour la pelouse. Par exemple, Damm *et al.* (2005) obtiennent des taux de 0,64 et 0,84 pour la classe d'arbres et d'arbustes et la classe d'herbe sur un terrain d'étude délimité autour des voies ferrées. Mathieu *et al.* (2007a) ont aussi des résultats relativement similaires pour une étude portant sur une ville néo-zélandaise (Dunedin) : 0,63 et 0,70 pour la classe d'arbres, et 0,66 et 0,90 pour la classe d'herbe.

Tableau 4 : Matrice de confusion

Classification <i>Interprétation</i>	Arbre	Herbe	Mixte	Totale	Exactitude producteur
<i>Arbre</i>	150 016	43 392	18 754	212 163	0,71
<i>Herbe</i>	41 477	235 609	14 072	291 158	0,81
<i>Mixte</i>	8 416	8 018	8 343	24 777	0,34
Totale	199 909	287 020	41 169	528 099	0,75
Exact. utilisateur	0,75	0,82	0,20	0,75	

Quant aux études qui intègrent des données d'altitude (principalement LiDAR), l'exactitude de la classe *herbe* est nettement supérieure à la nôtre, comme 0,94 par Zou et Troy (2006) ou 0,97 par Lovan *et al.* (2007). Toutefois, ce n'est pas le cas pour la classe d'arbres, par exemple 0,64 pour Lovan *et al.* (2007) et 0,72 pour Delm et Gulinck (2009); les deux sites d'étude étant situés respectivement en France et Belgique. L'amélioration de notre exactitude s'explique d'une part, par l'utilisation de la couche géographique des bâtiments pour la segmentation, qui nous a permis d'obtenir des objets bien définis et par conséquent, une classification plus précise. D'autre part, la ville de Montréal ne possède pas une densité de bâtiments élevée comme en Europe, la végétation est ainsi moins mixée avec d'autres types de couverture du sol.

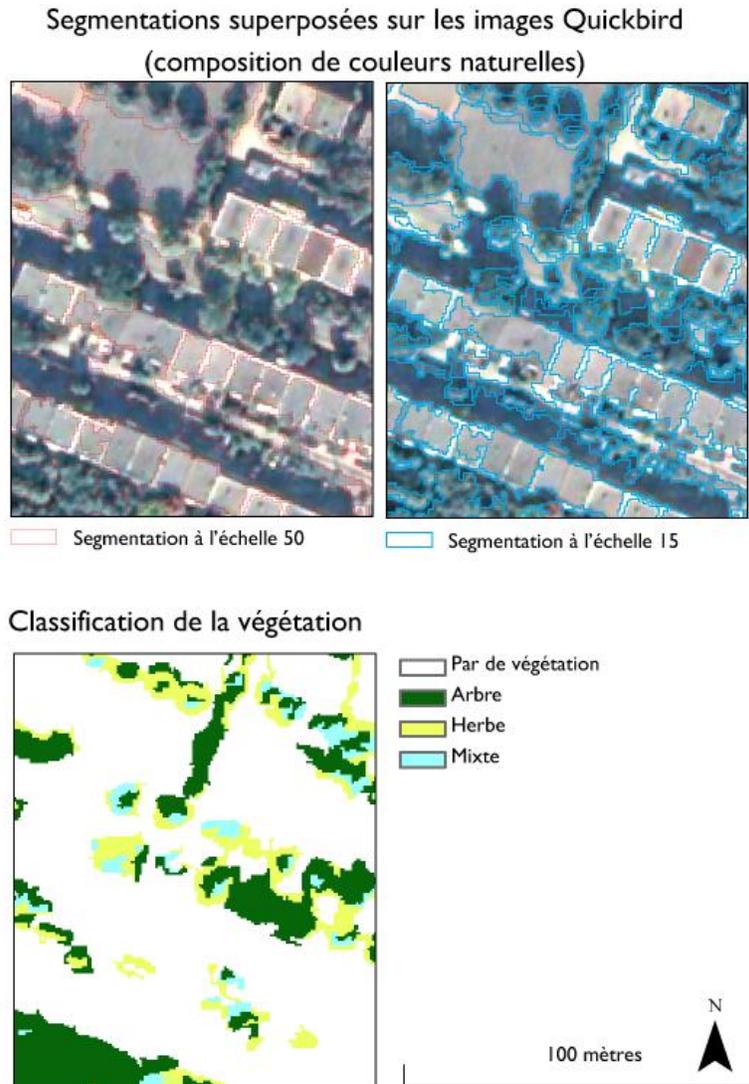


Figure 6 : Exemple de la segmentation et de la classification de l'image

La faible précision pour la classe *mixte* est due à la similarité des réponses spectrales et de la texture enregistrées dans les bandes d'images QuickBird, ce que plusieurs auteurs ont déjà démontré (Damm *et al.*, 2005; Delm et Gulinck, 2009). En effet, trois types de confusion semblent se produire entre les types de végétation sur nos images QuickBird classifiées. Premièrement, les grands arbres présents sur un espace de pelouse et à côté d'une haie sont souvent classifiés comme de l'herbe ou mixte. Deuxièmement, l'herbe est parfois ombragée par les arbres, ce qui lui donne une texture plus forte et ainsi parfois confondue avec celle des arbres. Troisièmement, l'herbe présente dans des terrains vacants est mixée avec des petits arbustes; il devient alors quasi impossible de les séparer, même par une évaluation visuelle. Étant donné que la précision de la classe *mixte* est faible, nous l'excluons dans les analyses statistiques pour évaluation de l'injustice environnementale.

Les indicateurs de végétation

Une fois la classification d'image réalisée, nous avons construit plusieurs indicateurs de végétation au niveau des aires de diffusion en les croisant avec les données urbaines (rues, ruelles, cours et parcs). Pour chacune des 655 aires de diffusion (AD) que comprend notre espace d'étude, nous avons ainsi calculé des indicateurs relatifs à la végétation totale, puis à sa composition :

- la proportion de la superficie totale de l'AD qui est couverte par de la végétation [eq. 5];
- la proportion de la superficie végétale de l'AD couverte par la classe *arbre* [eq. 6], puis par la classe *herbe* [eq. 7].

$$V_{AD_i} = \frac{Sa_{AD_i} + Sh_{AD_i} + Sm_{AD_i}}{S_{AD_i}} \quad [5]$$

$$A_{AD_i} = \frac{Sa_{AD_i}}{Sa_{AD_i} + Sh_{AD_i} + Sm_{AD_i}} \quad [6]$$

$$H_{AD_i} = \frac{Sh_{AD_i}}{Sa_{AD_i} + Sh_{AD_i} + Sm_{AD_i}} \quad \text{avec :} \quad [7]$$

S_{AD_i} = Superficie totale de l'aire de diffusion i .

Sa_{AD_i} = Superficie de l'aire de diffusion i couverte par la classe *arbre*.

Sh_{AD_i} = Superficie de l'aire de diffusion i couverte par la classe *herbe*.

Sm_{AD_i} = Superficie de l'aire de diffusion i couverte par la classe *mixte*.

Afin d'identifier les formes de végétation, ces trois indicateurs ont aussi été générés pour les rues, les ruelles, les parcs, les cours selon le type de bâtiment résidentiel (tous, maison unifamiliale, duplex et triplex, multiplex) au niveau des aires de diffusion. Par conséquent, nous pouvons vérifier si la végétation, ainsi que ses types (arbres et herbe) et ses formes (par exemple, les arbres dans les rues) varient de manière importante à travers les aires de diffusion et les neuf quartiers.

Variations des indicateurs de végétation entre les neuf quartiers

Les résultats des analyses de variance reportées au tableau 6 démontrent clairement que certains quartiers ont plus de végétation que d'autres. Concernant le premier indicateur (la proportion de l'aire de diffusion couverte par de la végétation), il est clair que les quartiers de l'est – Mercier-Est, Mercier-Ouest et Rosemont-Est – sont plus verts surtout comparativement aux quartiers Mile End, Saint-Louis, Hochelaga-Maisonneuve et Petit-Plateau (R^2 de 0,301; voir les boîtes des moustaches aux figures 7.a et c.).

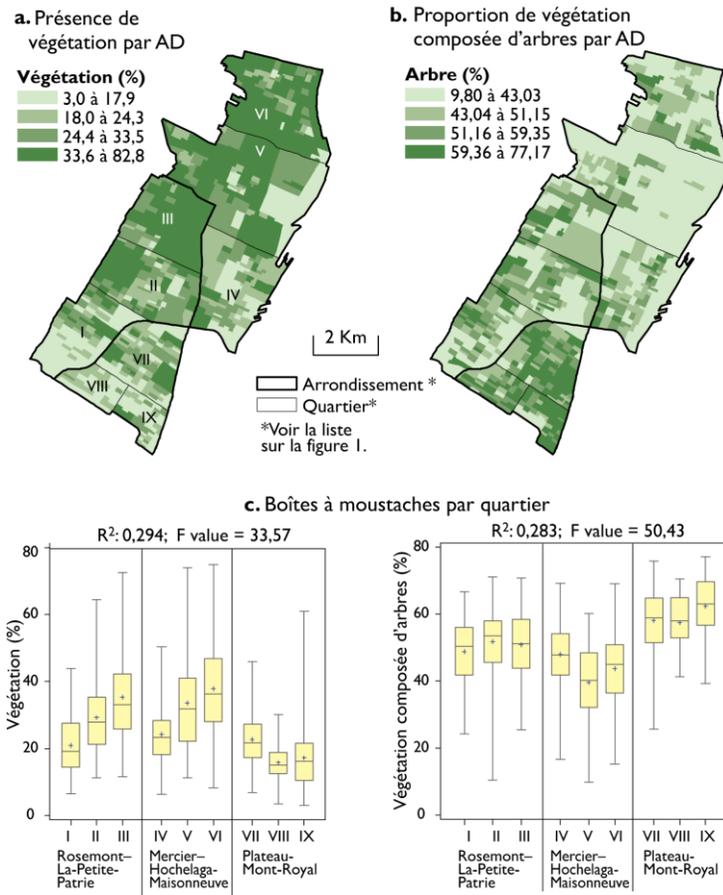


Figure 7 : Végétation par aire de diffusion et selon les neuf quartiers

La composition de la végétation dans les aires de diffusion varie également significativement : valeurs de R^2 de 0,275 et de 0,230 respectivement pour les classes *arbre* et *herbe* (tableau 5). Ainsi, nombreuses sont les aires de diffusion dans les quartiers de l'ouest de notre zone d'étude (ceux de l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal) dont plus de 60 % de la végétation qu'elles comprennent est composée d'arbres, soit des proportions plus élevées que celles observées dans les quartiers de l'est (figure 7.b).

Tableau 5 : Analyse de variance des types de végétation

Types d'occupations du sol	Végétation	R ²	F de Fisher
Aire de diffusion (en total)	Totale	0,301	33,91
	Arbre	0,275	29,78
	Herbe	0,230	23,47
Rue	Totale	0,099	8,67
	Arbre	0,165	15,50
	Herbe	0,161	15,04
Ruelle	Totale	0,037	2,68 ^a
	Arbre	0,090	6,95
	Herbe	0,092	7,11
Parc	Totale	0,052	1,85 ^a
	Arbre	0,051	1,84 ^a
	Herbe	0,049	1,74 ^a
Cour	Totale	0,232	23,59
	Arbre	0,367	45,31
	Herbe	0,341	40,42
Cour de maison unifamiliale	Totale	0,049	3,25 ^a
	Arbre	0,041	2,66 ^a
	Herbe	0,034	2,23 ^a
Cour de duplex et triplex	Totale	0,074	6,15
	Arbre	0,196	18,63
	Herbe	0,187	17,58
Cour de multiplex	Totale	0,026	1,99 ^a
	Arbre	0,074	5,89
	Herbe	0,070	5,54

Variable qualitative est quartiers (N=9). ^a À l'exception de ces valeurs de F, toutes les autres sont significatives avec $p < 0,001$.

En outre, le croisement des indicateurs de végétation avec les types d'occupation du sol apporte un éclairage nouveau quant aux variations de la végétation précédemment décrites. En effet, bien que globalement la présence de la végétation et sa composition varient au sein des aires de diffusion, il n'en est pas de même pour la végétation dans les ruelles, les parcs, les cours des maisons unifamiliales et de multiplex (valeurs de F de Fisher non significatives au tableau 6). Autrement dit, les ruelles, les parcs, les cours des maisons unifamiliales et de multiplex ne sont pas plus vertes dans un quartier plutôt qu'un autre, ou encore, ne comprennent pas plus d'arbres dans un quartier plutôt qu'un autre. Toutefois, d'autres formes de végétation varient plus entre les quartiers, notamment la part des arbres dans la végétation totale des rues et dans les cours (valeurs de R² de respectivement 0,165 et 0,367).

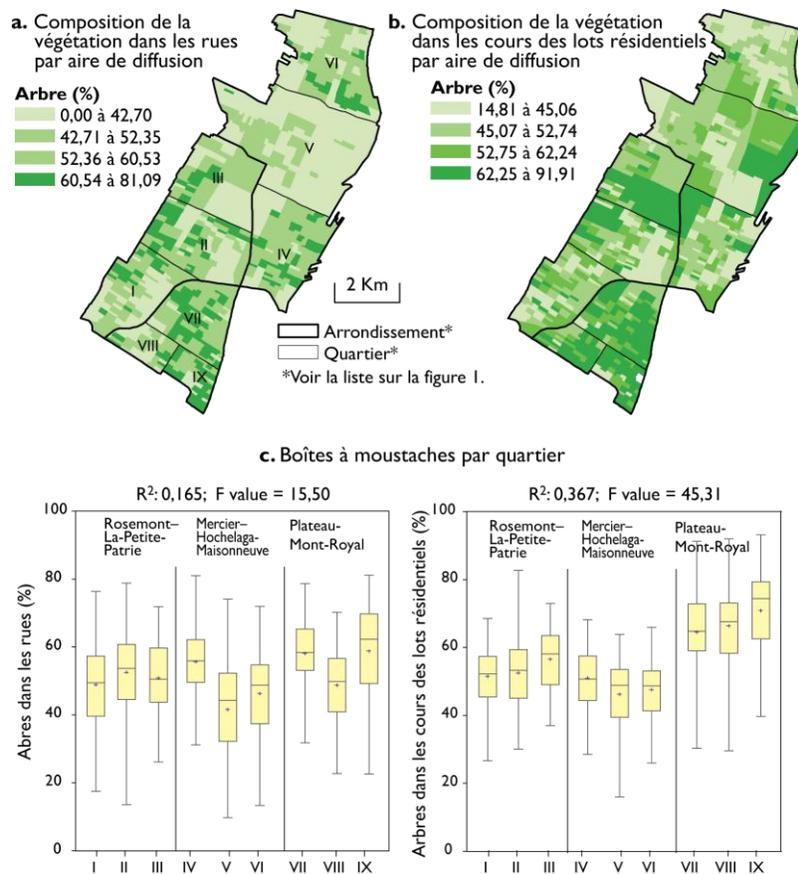


Figure 8 : Représentativité des arbres dans la végétation totale des rues et des cours par aire de diffusion et selon les neuf quartiers

Évaluation de la justice environnementale

STATISTIQUES UNIVARIÉES PONDÉRÉES

Ce premier type d'analyse révèle que les indicateurs de végétation sont globalement comparables pour les trois populations cibles : les statistiques pondérées par les populations d'enfants (15 ans et moins), de personnes âgées (65 ans et plus) et à faible revenu sont similaires à celles de la population totale (tableau 6). Il existe bien quelques différences mineures, pour la végétation totale, les statistiques sont légèrement plus faibles lorsqu'est appliquée une pondération en fonction de la population à faible revenu (à titre d'exemple, moyenne de 24,9 % contre 27 % pour la population totale et 30,1 % pour celle des 65 ans et plus), mais ces faibles différences sont loin d'être alarmantes.

Tableau 6 : Statistiques univariées pondérées

Poids	Végétation	Moy.	P10	Q1	Q2	Q3	P90	CV
A	Totale	27,0	13,2	17,8	24,3	33,9	43,7	1 134,3
B		27,4	14,0	18,1	25,0	34,0	44,0	386,3
C		30,1	14,3	19,3	27,3	37,9	50,3	422,8
D		24,9	11,8	16,9	22,9	30,7	40,7	268,1
A	Arbre	49,9	33,3	42,5	50,9	59,0	65,7	606,8
B		49,1	32,2	41,5	50,3	58,4	64,9	218,9
C		48,2	31,5	40,6	48,7	57,5	64,6	234,1
D		50,3	34,0	42,9	51,1	59,2	65,9	136,9
A	Herbe	36,8	23,8	28,7	35,0	42,7	51,6	733,8
B		37,5	24,5	29,3	35,6	43,3	53,8	256,6
C		38,4	24,8	29,8	36,6	45,3	52,8	268,7
D		36,4	23,9	28,6	34,8	42,2	50,9	169,5

A: Population totale; **B:** Enfants; **C:** Aînés; **D:** Population à faible revenu.
Moy. : moyenne; **P10:** 10^e centile; **Q1:** 1^e quartile; **Q2:** Médiane; **Q3:** 3^e quartile; **P90:** 10th centile; **CV:** Coefficient de variation.

ANALYSE DE CORRÉLATION

Comme pour l'analyse univariée, les résultats de l'analyse de corrélation démontrent que l'on ne peut conclure à une injustice environnementale criante pour les trois populations cibles puisque les corrélations significatives entre les variables sociodémographiques et les indicateurs de végétation demeurent somme toute relativement faibles (inférieures à 0,35 en valeur absolue; tableau 7). Toutefois, on observe certaines relations (corrélations) qui méritent d'être mentionnées :

- Plus la proportion de personnes âgées est élevée plus, l'aire de diffusion comprend de la végétation ($R^2 = 0,31$) alors que l'on observe la relation inverse pour les personnes à faible revenu ($R^2 = -0,34$) et le loyer brut moyen ($R^2 = -0,17$).
- Plus les proportions de personnes âgées et d'enfants sont élevées, plus la végétation présente dans l'AD est composée de la classe *Herbe*; la situation contraire s'observe pour le loyer brut.
- Finalement, plus les cours des lots résidentiels sont vertes, plus la présence de personnes âgées est importante et plus celle des personnes à faible revenu est réduite.

Tableau 7 : Coefficients de corrélation de Pearson

	Superficie totale de l'AD			Superficie des rues dans l'AD			Superficie des cours des lots résidentiels dans l'AD		
	Vég.	Arbre	Herbe	Vég.	Arbre	Herbe	Vég.	Arbre	Herbe
A	0,11	-0,18	0,17	0,10	-0,12	0,11	0,09	-0,18	0,20
B	0,31	-0,19	0,19	0,05	-0,16	0,16	0,28	-0,14	0,13
C	-0,34	-0,01	0,02	-0,21	0,01	-0,03	-0,28	0,09	-0,10
D	-0,17	0,20	-0,19	-0,13	0,05	-0,03	-0,15	0,23	-0,23

Vég. : végétation totale; **A:** Enfants (%); **B:** Aînées (%); **C:** Population à faible revenu (%); **D:** Loyer moyen (\$). Les valeurs en gras sont significatives à $P < 0.005$.

Quelles nuances doivent être formulées quant à ces résultats. Tout d'abord, concernant le loyer qui affiche une relation négative avec la présence de la végétation. Cela s'explique avant tout par le fait que les loyers les plus élevés dans notre espace d'étude, sont observés dans l'arrondissement Le Plateau Mont-Royal, quartier central dense avec peu de végétation, mais fortement gentrifié. Il est fort probable qu'une analyse sur l'ensemble de l'île de Montréal aurait permis de montrer une relation positive entre le loyer et la présence de végétation.

Modélisation de la présence de la végétation et de ses différentes formes

Afin de mieux comprendre la relation entre les formes de végétation et les indicateurs socioéconomiques, et relatifs au logement, nous proposons la construction de quatre types modèles de régression linéaires multiples en fonction de trois blocs de variables, soit 1) les variables relatives au bâti résidentiel, 2) les variables socioéconomiques et 3) les variables muettes relatives aux trois arrondissements :

- *Modèles de type A : variables indépendantes relatives au bâti résidentiel.* Dans un premier temps, il s'agira de vérifier « l'effet du bâti résidentiel » sur la présence de la végétation et des formes de végétation. Les variables indépendantes introduites dans ce type de modèles renvoient aux différents types de construction (maison individuelle, jumelée, en rangée; appartement dans un duplex, appartement dans un immeuble de plus de cinq étages et appartement dans un immeuble de moins de cinq étages). Par exemple, il est fort probable que les maisons individuelles, jumelées ou en rangée soient positivement significatives pour prédire la quantité de végétation, contrairement aux logements dans les immeubles de cinq étages ou plus.
- *Modèles du type B : variables socioéconomiques.* Dans un second temps, il s'agira de vérifier si les caractéristiques socioéconomiques sont associées avec les formes de végétation. De la sorte, nous verrons si la dimension socioéconomique est plus importante pour prédire la présence de végétation que celle des formes du bâti résidentiel.

- *Modèles du type C : variables socioéconomiques et muettes pour les arrondissements.* Les analyses de variance ont démontré qu'il semble exister certaines variations significatives entre les arrondissements. En outre, il est possible que les habitants de certains arrondissements se mobilisent davantage pour revendiquer des interventions de verdissement dans leur milieu auprès des autorités municipales. Il convient donc d'introduire ces variables muettes dans les modèles.
- *Modèles du type D : variables socioéconomiques, relatives au bâti résidentiel et muettes pour les arrondissements.* Ce type de modèle intègre donc l'ensemble des variables.

Avant d'analyser en détail les analyses de régression, il convient de mentionner que les six variables relatives aux types de construction des logements par aire de diffusion étaient fortement corrélées générant ainsi des problèmes de multicollinéarité dans nos modèles. Par conséquent, nous avons préalablement réalisé sur ces variables une analyse en composantes principales normée (ACP) avec une rotation Varimax. Au final, les trois premiers facteurs de cette ACP totalisent 70 % de la variance totale (tableau 8). Le premier facteur est fortement associé avec le pourcentage de logements situés dans des immeubles de cinq étages et plus; le deuxième avec le pourcentage des maisons individuelles ou jumelées; et le troisième avec le pourcentage de logements dans des duplex. Ces trois facteurs seront ainsi introduits comme variables indépendantes dans les différents modèles de régression.

Tout d'abord, une première série de modèles a été réalisée avec comme variable dépendante, la part de la superficie totale de l'AD qui est couverte par de la végétation (tableau 9). Les caractéristiques du bâti résidentiel (type A) expliquent à hauteur de 26 % la présence de la végétation au sein des AD : sans grande surprise, la présence des maisons individuelles ou jumelées (facteur 2 issu de l'ACP), et dans une moindre mesure, celle des duplex sont fortement et positivement significatives contrairement à la présence des multiplex.

Tableau 8 : Analyse en composantes principales avec rotation Varimax sur les variables relatives aux types de construction des logements

Facteur	F1	F2	F3
Valeur propre	1,42	1,39	1,38
Proportion	0,24	0,23	0,23
Cumulative	0,24	0,47	0,70
Variables	Scores de facteurs (après rotation)		
Maisons individuelles	0,09	0,66	0,16
Maisons jumelées	-0,03	0,77	-0,16
Maison en rangée	0,00	0,37	0,06
Appartements dans duplex	-0,09	-0,01	0,97
Appartements dans un immeuble de moins de cinq étages	-0,65	-0,47	-0,59
Appartements dans un immeuble de cinq étages ou plus	0,99	-0,07	-0,13

Tableau 9 : Modèles de régression avec la présence de la végétation par AD comme variable dépendante

Modèle	A		B		C		D	
	β	T	β	T	β	T	β	T
Constante	26,45***	64,47	43,73***	10,43	36,15***	7,49	30,64***	6,93
F1 (5 étages et +)	-1,40***	-3,31					-1,10*	-2,39
F2 (maison)	5,91***	11,84					4,17***	8,37
F3 (duplex)	2,66***	6,24					1,10*	2,49
P15			0,41***	3,63	0,29**	2,50	0,05	0,40
P65			0,42***	6,75	0,32***	5,14	0,30***	4,66
FR			-0,33***	-10,07	-0,30***	-9,16	-0,16***	-4,32
LOYER			-0,03***	-6,11	-0,02**	-3,15	-0,01	-1,89
PMR ^a					Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
RPP ^b					2,23	1,80	2,21	1,87
MHM ^c					5,54***	4,26	4,05**	3,27
R ²	0,257		0,281		0,293		0,378	
R ² ajustée	0,254		0,276		0,286		0,369	

P15: enfants de moins de 15 ans (%); **P65:** personnes de 65 ans et plus (%); **FR:** personnes à faible revenu (%); **LOYER:** Loyer moyen brut (\$). **PMR :** Le Plateau-Mont-Royal; **RPP :** Rosemont–La Petite-Patrie; **MHM :** Mercier–Hochelaga-Maisonneuve.

Note : Les valeurs aberrantes ont été ôtées des modèles finaux en utilisant le critère de la distance de Cook inférieure à 8/n. Toutes les valeurs VIF sont inférieures à 4; autrement dit, il n'y a pas de multicolinéarité entre les variables indépendantes.

Seuils de signification : ***= 0,1 %; ** = 1 %; * = 5 %.

Étonnamment, le pouvoir prédictif du second modèle – celui avec les variables socioéconomiques – est légèrement plus important que celui décrit précédemment (R² ajusté de 0,276 contre 0,254). Autrement dit, la dimension socioéconomique semble très légèrement plus significative que celle du bâti résidentiel pour expliquer la présence de la végétation. Il importe toutefois de signaler que les variables relatives au bâti extraites du recensement canadien ne permettent pas de décrire dans toute sa complexité la nature du bâti résidentiel montréalais. En effet, par exemple, la variable *appartement dans un immeuble de moins de cinq étages* ne permet pas de différencier les triplex aux sixplex et mêmes des *walk-up*⁹.

L'analyse des coefficients de régression du modèle B révèle que les proportions d'enfants et de personnes âgées sont positivement associées avec la présence de végétation, traduisant ainsi l'absence d'injustice environnementale pour ces deux populations. Si injustice environnementale il y a, elle s'opère avec le pourcentage des personnes à faible revenu.

Bien que l'introduction des variables muettes (*dummy variables*) pour les trois arrondissements augmente très peu le pouvoir prédictif du modèle (C), elle permet toutefois de démontrer que les

⁹ On trouvera, sur le site de Statistique Canada, une discussion entourant les difficultés de distinguer certains types de logements dans certains urbains (dont Montréal) comme les quadruplex ou les sixplex (appartement ayant un accès direct au sol) des immeubles de type *walk-up* (avec une seule entrée et une seule adresse, les appartements se distribuant le long de couloirs sans accès direct au sol). On pourra consulter le site suivant pour en savoir plus www12.statcan.gc.ca/francais/census01/Products/Reference/tech_rep/dwelling/data_quality.cfm#3.2 (consulté le 23 juin 2010).

aires de diffusion situées dans les arrondissements Rosemont–La Petite-Patrie et surtout Mercier–Hochelaga-Maisonneuve sont bien plus vertes que celles de l’arrondissement Le Plateau-Mont-Royal. Bien entendu, le dernier modèle combinant les trois blocs de variables – dimensions du bâti résidentiel et socioéconomique et arrondissement d’appartenance (D) – est celui qui prédit le mieux les variations de végétation au sein des aires de diffusion (R^2 ajusté =0,37). Ce modèle indique que la végétation tente à augmenter dans les AD où il y a proportionnellement plus de maisons individuelles ou jumelées, de personnes âgées et moins de personnes à faible revenu et lorsque l’AD est localisé dans l’arrondissement Mercier–Hochelaga-Maisonneuve.

Étant donné que les analyses de variance ont démontré des variations importantes des classes *arbre* et *herbe* dans la composition de la végétation présente dans les AD, mais aussi de la végétation dans les cours et les rues, nous avons construit les mêmes types de modèles (A à D) avec comme variable dépendante : la proportion d’*arbre*, puis d’*herbe* dans la superficie végétale totale des AD; la proportion de la superficie des rues, puis des cours couvertes par de la végétation (tableau 10). Les résultats de ces modèles indiquent que les modèles D sont efficaces pour prédire trois types de variables dépendantes : 1) les arbres dans les AD, 2) l’herbe dans les AD et 3) la végétation dans les cours (respectivement des R^2 ajustées de 0,262, 0,244 et 0,291). Les coefficients de régression de ces modèles sont reportés au tableau 11.

Tableau 10 : Valeurs des R^2 ajustées des modèles pour les différentes formes de végétation

Variable dépendante	R^2 ajusté pour les modèles			
	A	B	C	D
Végétation dans l’AD	0,254	0,281	0,286	0,369
Arbre dans la composition de la végétation dans l’AD	0,015	0,139	0,259	0,262
Herbe dans la composition de la végétation dans l’AD	0,015	0,129	0,232	0,244
Végétation dans les rues	0,099	0,094	0,110	0,125
Végétation dans les cours	0,267	0,184	0,187	0,291
Végétation dans les cours de maisons	0,027	0,024	0,033	0,039
Végétation dans les cours de duplex	0,027	0,057	0,059	0,061
Végétation dans les cours de multiplex	0,018	0,009	0,017	0,020

Pour une description des modèles, notamment des variables indépendantes, se reporter au tableau précédent.

Tableau 11 : Coefficients de modèles pertinents

Modèle	<i>Arbre</i> dans les AD		<i>Herbe</i> dans les AD		Végétation dans les cours	
	β	T	β	T	β	T
Constante	68,16***	13,72	23,50***	5,34	45,99***	9,47
F1 (5 étages et +)	1,08*	2,22	-1,03*	-2,34	-0,43	-0,75
F2 (maisons)	0,93	1,78	-0,85	-1,93	4,78***	8,99
F3 (duplex)	0,41	0,89	-0,24	-0,58	1,86***	3,88
P15	-0,24*	-1,99	0,25*	2,32	0,21	1,72
P65	-0,25***	-3,88	0,19**	3,33	0,26***	3,84
FR	-0,09*	-2,39	0,07*	2,12	-0,11**	-2,71
LOYER	-0,001	-0,26	-0,001	-0,39	-0,01**	-2,69
PMR ^a	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
RPP ^b	-6,88***	-5,28	4,84***	4,19	-2,91*	-2,22
MHM ^c	-13,31***	-9,70	10,74***	8,95	-2,06	-1,52
R ² ajusté	0,262		0,244		0,291	

P15: enfants de moins de 15 ans (%); **P65:** personnes de 65 ans et plus (%); **FR:** personnes à faible revenu (%); **LOYER:** Loyer moyen brut (\$). **PMR :** Le Plateau-Mont-Royal; **RPP :** Rosemont–La Petite-Patrie; **MHM :** Mercier–Hochelaga-Maisonneuve.

Note : Les valeurs aberrantes ont été ôtées des modèles finaux en utilisant le critère de la distance de Cook inférieure à 8/n. Toutes les valeurs VIF sont inférieures à 4; autrement dit, il n'y a pas de multicollinéarité entre les variables indépendantes.

Seuils de signification : ***= 0,1 %; ** = 1 %; * = 5 %.

Les facteurs explicatifs les plus importants pour expliquer la variation des arbres et de l'herbe dans la superficie végétale au sein des AD sont l'arrondissement d'appartenance et la présence de personnes âgées :

- Comparativement à l'arrondissement Le Plateau-Mont-Royal, la végétation dans Mercier–Hochelaga-Maisonneuve et Rosemont–La Petite-Patrie est plus fréquemment composée de la classe *herbe* et inversement, moins de la classe *arbre*.
- Plus la présence des personnes âgées et, dans une moindre mesure, des enfants de moins de 15 ans est importante, plus la végétation est composée d'herbe et inversement moins d'arbres.

Sans grande surprise, ce sont les caractéristiques du bâti résidentiel qui influencent le plus la quantité de végétation dans les cours : les maisons individuelles et jumelées et les duplex affichent en effet des coefficients de régression positivement significatifs. Notons aussi que la présence des personnes âgées est positivement significative et inversement, pour celle des personnes à faible revenu.

Enfin, il convient de mentionner que dans tous les modèles, les valeurs de R^2 ajustés ne dépassent pas 0,37. La modélisation de la végétation et de ces différentes formes et types demeure donc un phénomène complexe.

Discussion et conclusion

Dans le cadre de cette étude, nous avons obtenu deux classes de végétation, arbre et herbe, à partir d'images QuickBird, avec une bonne exactitude de l'utilisateur de respectivement 0,75 et 0,82. Tel que suggéré par plusieurs auteurs, l'intégration d'informations d'altitude pourrait permettre une réduction de la confusion avec la classe *mixte* (Lovan *et al.*, 2007; Voss et Sugumaran, 2008; Zhou et Troy, 2008).

Nous avons aussi démontré qu'il existe des variations significatives dans la quantité de végétation, et surtout d'arbres dans les rues et les cours des lots résidentiels à travers les neuf quartiers de l'espace d'étude.

Toutefois, ces variations n'induisent pas d'injustices environnementales criantes pour les trois populations cibles étudiées, soit les jeunes, les personnes âgées et les personnes à faible revenu, bien que ces dernières semblent résider dans des aires de diffusion comprenant proportionnellement moins de végétation (en moyenne, 3 % de moins comparativement à la population totale), mais rien d'alarmant. Les inégalités observées pour cette population peuvent être donc considérées assez faibles lorsqu'on les compare avec celles d'autres villes états-uniennes, notamment Baltimore, Milwaukee, Chicago et Tampa (Grove *et al.*, 2006; Heynen *et al.*, 2006; Iverson et Cook, 2000; Landry et Chakraborty, 2009) ou des pays en voie de développement (McConnachie et Shackleton, 2009; Pedlowski *et al.*, 2002). À l'inverse, la situation est plus favorable pour les personnes âgées, et dans une moindre mesure, pour les enfants résidant dans des espaces comprenant plus de végétation (comparativement à la population totale).

Les résultats de cette étude confirment l'apport de la cartographie orientée objet pour identifier les types de végétation (notamment les arbres et l'herbe) à partir de l'imagerie satellitaire à très haute résolution. Ils confirment aussi l'importance de croiser les types de végétation (*arbre* et *herbe*) avec des données urbaines afin d'identifier les formes végétatives en milieu urbain : végétation totale, *arbre* et *herbe* dans les parcs, les rues, les ruelles, les cours, etc. À nos yeux, un tel croisement est indispensable si l'évaluation de la végétation urbaine est réalisée dans le cadre de travaux s'inscrivant dans le courant des études sur les injustices environnementales. En effet, démontrer qu'un groupe de population donné réside dans des environnements urbains plus minéralisés (avec moins de végétation) est tout à fait pertinent, savoir sur quel élément urbain, cette inégalité est la plus importante (rues, parcs, cours, etc.) devient alors une information essentielle pour l'intervention et la planification urbaines. Autrement dit, les décideurs pourraient cibler des zones comprenant moins de végétation et intervenir sur la forme déficiente en termes de végétation (les rues ou les parcs par exemple).

La force explicative de nos modèles de régression demeure toutefois limitée, ne dépassant pas 40 % de la variation de la végétation et de ses différentes formes. Il y a donc place à amélioration avec l'introduction d'autres facteurs explicatifs. Par exemple, certaines études soulignent le rôle des programmes locaux de conservation de la végétation et l'implication des citoyens relativement à la conservation et la plantation d'arbres (Conway et Urbani, 2007; Heynen *et al.*, 2006) et la date de construction des quartiers (Grove *et al.*, 2006). Rappelons aussi que notre espace d'étude se limite à trois arrondissements de la Ville de Montréal. Il serait donc judicieux d'intégrer ces facteurs et d'étendre l'analyse à l'ensemble de la Ville de Montréal.

Bibliographie

- Agyeman, J. et B. Evans. 2004. « Just sustainability': the emerging discourse of environmental justice in Britain? ». *The Geographical Journal*, vol. 170, no 2, p. 155-164.
- Akbari, H., L. S. Rose et H. Taha. 2003. « Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 63, p. 1-14.
- Anderson, L. M. et H. K. Cordell. 1988. « Influence of trees on residential property values in Athens, Georgia (U.S.A.): a survey based on actual sales prices ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 15, p. 153-164.
- Apparicio, P., M.-S. Cloutier, A.-M. Séguin et J. Ades. « (Accepted with corrections) Accessibilité aux parcs urbains pour les enfants et injustice environnementale: exploration du cas montréalais ». *Revue Internationale de Géomatique*.
- Apparicio, P., A.-M. Séguin et X. Leloup. 2007. « Modélisation spatiale de la pauvreté à Montréal: apport méthodologique de la régression géographiquement pondérée ». *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, vol. 51, no 4, p. 412-427.
- Apparicio, P., A.-M. Séguin et D. Naud. 2008. « The quality of the urban environment around public housing buildings in Montréal: an objective approach based on GIS and multivariate statistical analysis ». *Social Indicators Research*, vol. 86, p. 355-380.
- Baatz, M., U. C. Benz, S. Dehshani, M. Heynen, A. Hötje, P. Hofmann, I. Lingenfelder, M. Mimler, M. Sohlbach, M. Weber, G. Willhauck et D. I. GmbH. 2004. *eCognition Professional, Userguide version 4.0*. München, 475 p.
- Barbosa, O., J. A. Tratalos, P. R. Armsworth, R. G. Davies, R. R. A., P. Johnson et K. J. Gaston. 2007. « Who benefits from access to green space? A case study from Sheffield, UK ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 83, p. 187-195.
- Cackowski, J. M. et J. L. Nasar. 2003. « The restorative effects of roadside vegetation: implications for automobile driver anger and frustration ». *Environment and Behavior*, vol. 35, no 6, p. 736-751.
- Canoui-Poitrine, F., E. Cadot et A. Spira. 2006. « Excess deaths during the August 2003 heat wave in Paris, France ». *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, vol. 54, no 2, p. 127-135.
- Caprioli, M. et E. Tarantino. 2003. « Urban features recognition from VHR satellite data with an object-oriented approach ». Dans *ISPRS, Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II* (Stuttgart, September 8-9).
- Castonguay, G. et S. Jutras. 2008. « Children's appreciation of outdoor places in a poor neighborhood ». *Journal of Environmental Psychology*, vol. 29, no 1, p. 101-109.
- Congalton, R. G. 1991. « A review of assessing the accuracy of classifications of remotely-sensed data ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 37, p. 35-46.
- Conway, T. et L. Urbani. 2007. « Variations in municipal urban forestry policies: a case study of Toronto, Canada ». *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 6, p. 181-192.
- Damm, A., P. Hoster et S. Schiefer. 2005. « Investigating urban railway corridors with geometric high resolution satellite data ». Dans *ISPRS, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (Tempe, AZ, March 14-16).
- Delm, A. V. et H. Gulinck. 2009. « Classification and quantification of green in the expanding urban and semi-urban complex: Application of detailed field data and IKONOS-imagery ». *Ecological Indicators*, vol. In press.
- Des Rosiers, F., M. Thériault, Y. Kestens et P. Villeneuve. 2002. « Landscaping and house values: an empirical investigation ». *Journal of Real Estate Research*, vol. 23, no 1/2, p. 139-161.

- Flanders, D., M. Hall-Beyer et J. Pereverzoff. 2003. « Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction ». *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 29, no 4, p. 441–452.
- Freeman, C. et O. Buck. 2003. « Development of an ecological mapping methodology for urban areas in New Zealand ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 63, p. 161–173.
- Grove, J. M., M. L. Cadenasso, W. R. Burch, S. T. A. Pickett, K. Schwarz, J. O'Neil-Dunne, M. Wilson, A. Troy et C. Boone. 2006. « Data and methods comparing social structure and vegetation structure of urban neighborhoods in Baltimore, Maryland ». *Society and Natural Resources*, vol. 19, p. 117-136.
- Hay, G. J. et G. Castilla. 2008. « Geographic object-based image analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline ». Dans *Object-based image analysis: Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*, sous la dir. de T. Blaschke, S. Lang et G. J. Hay, p. 75-90. Coll. « Lecture notes in geoinformations and cartography ». Berlin Heidenberg: Springer-Verlag.
- Heynen, N., H. A. Perkins et P. Roy. 2006. « The political ecology of uneven urban green space the impact of political economy on race and ethnicity in producing environmental inequality in Milwaukee ». *Urban Affairs Review*, vol. 42, no 1, p. 3-25.
- Hope, D., C. Gries, W. Zhu, W. F. Fagant, C. Redman, N. B. Grimm, N. A. L., C. Martin et A. P. Kinzig. 2003. « Socioeconomics drive urban plant diversity ». *Proceeding of the National Academic Sciences*, vol. 100, no 5, p. 8788-8792.
- Iverson, L. R. et E. A. Cook. 2000. « Urban forest cover of the Chicago region and its relation to household density and income ». *Urban Ecosystems*, vol. 4, p. 105-124.
- Jensen, J. R. 2005. *Introductory of digital image processing: a remote sensing perspective*. New Jersey: Prentice Hall, 562 p.
- Jo, H. K. et G. McPherson. 2001. « Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA ». *Journal of Environmental Management*, vol. 61, p. 165-177.
- Kampouraki, M., G. A. Wood et T. R. Brewer. 2008. « Opportunities and limitations of object-based image analysis for detecting urban impervious and vegetated surfaces using true-color aerial photography ». Dans *Object-based image analysis: Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*, sous la dir. de T. Blaschke, S. Lang et G.J. Hay, p. 555-570. Coll. «Lecture notes in geoinformations and cartography ». Berlin Heidenberg: Springer-Verlag.
- Kettig, R. L. et D. A. Landgrebe. 1976. « Classification of multispectral image data by extraction and classification of homogeneous objects ». *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, vol. GE-14, no 1, p. 19-26.
- Kong, F., H. Yin et N. Nakagoshi. 2007. « Using GIS and landscape metrics in the hedonic price modeling of the amenity value of urban green space: A case study in Jinan City, China ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 79, p. 240-252.
- Kweon, B.-S., W. Sullivan et A. Wiley. 1998. « Green common spaces and the social integration of inner-city older adults ». *Environment and Behavior*, vol. 30, no 6, p. 1998-1998.
- Landry, S. M. et J. Chakraborty. 2009. « Street trees and equity: evaluation the spatial distribution of an urban amenity ». *Environment and Planning a*, vol. 41, p. 2651-2670.
- Lee, S.-W., C. D. Ellis, B.-S. Kweonb et S.-K. Hong. 2008. « Relationship between landscape structure and neighborhood satisfaction in urbanized areas ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 85, p. 60-70.
- Leslie, E., T. Sugiyama, D. Ierodiaconou et P. Kremer. 2010. « Perceived and objectively measured greenness of neighbourhoods: Are they measuring the same thing? ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 95, p. 28-33.

- Lovan, C., D. Boldo et M. Cord. 2007. « Automatic extraction of urban vegetation structures from high resolution imagery and digital elevation model ». Dans *Urban Remote Sensing Joint Event* (Paris, April 11-13).
- Luber, G. et M. McGeehin. 2008. « Climate change and extreme heat events ». *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 35, no 5, p. 429-435.
- Martin, C., P. A. Warren et A. P. Kinzig. 2004. « Neighborhood socioeconomic status is a useful predictor of perennial landscape vegetation in residential neighborhoods and embedded small parks of Phoenix, AZ ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 69, p. 355–368.
- Mathieu, R., J. Aryal et A. K. Chong. 2007a. « Object-based classification of Ikonos imagery for mapping large-scale vegetation communities in urban areas ». *Sensors*, vol. 7, p. 2860-2880.
- Mathieu, R., C. Freeman et J. Aryal. 2007b. « Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 81, p. 179-192.
- Mathieu, R., M. Pouget, B. Cervelle et R. Escadafal. 1998. « Relationships between satellite-based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typical soil color of an arid environment ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 66, p. 17-28.
- McConnachie, M. M. et C. M. Shackleton. 2009. « Public green space inequality in small towns in South Africa ». *Habitat International*, vol. 34, p. 244-248.
- McPherson, G., J. R. Simpson, P. J. Peper, S. E. Maco et Q. Xiao. 2005. « Municipal forest benefits and costs in five U.S. cities ». *Journal of Forestry*, vol. 103, no 8, p. 411-416.
- O'Neill, M. S., R. Carter, J. K. Kish, C. Gronlund, J. L. White-Newsome, X. Manaraolla, A. Zanobetti et J. D. Schwartz. 2009. « Preventing heat-related morbidity and mortality: new approaches in a changing climate ». *Maturitas*, vol. 64, p. 98-103.
- Pedlowski, M. A., V. A. C. D. Silva, J. J. C. Adell et N. Heynen. 2002. « Urban forest and environmental inequality in Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brazil ». *Urban Ecosystems*, vol. 6, p. 9-20.
- Platt, R. V. et L. Rapoza. 2008. « An evaluation of an object-oriented paradigm for land use/land cover classification ». *Professional Geographer*, vol. 60, p. 87-100.
- Qi, J., A. Chehbouni, A. huette, K. Kerr et S. Sorooshian. 1994. « Modified soil adjusted vegetation index (MSAVI) ». *Remote Sensing of Environment*, vol. 48, p. 119-126.
- Ridder, K. D., V. Adame, A. Banuelos, M. Brused, M. Burgend, O. Damsgaarde, J. Dufek, J. Hirsch, F. Lefebvre, J. M. Pérez-Lacorzana, A. Thierry et C. Weber. 2004. « An integrated methodology to assess the benefits of urban green space ». *Science of the Total Environment*, vol. 334-335, p. 489-497.
- Seeland, K., S. Dübendorfer 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*, vol. 11, p. 10-17.
- Séguin, A.-M., P. Apparicio et P. Négron (2008). *Évolution de la distribution spatiale de la population âgée dans huit métropoles : une ségrégation qui s'amenuise*. Montréal, INRS Urbanisation Culture Société: 50 p.
- Steinwendner, J., W. Schneider, R. Bartl, W. Kropatsch et H. Bischof. 2001. « Image understanding methods for remote sensing ». Dans *Digital image analysis: selected techniques and applications*, p. 544-544. New York: Springer.
- Sugumaran, R. et M. Voss. 2007. « Object-oriented classification of LIDAR-fused hyperspectral imagery for tree species identification in an urban environment ». Dans *2007 Urban Remote Sensing Joint Event* (Paris, April 11-13).

- Toutin, T., R. Chénier et Y. Carbonneau. 2002. « 3D models for high resolution images: examples with Quickbird, Ikonos and Eros ». Dans *ISPRS, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications* (Ottawa, July 9-12), p. 547-551.
- Tunay, M., M. A. Marangoz, S. Karakis et A. Atesoglu. 2007. « Detecting urban vegetation from different images using an object-based approach in Bartin, Turkey ». Dans *Recent Advances in Space Technologies RAST '07* (Istanbul, p. 636-640.
- Ville de, Montréal. (2009). *Politique de protection et de mise en valeur des milieux naturels*. Montréal: 21 p En ligne: http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=4837,12319596&_dad=portal&_schema=PORTAL. Consultation le 6 mai 2010.
- Voss, M. et R. Sugumaran. 2008. « Seasonal effect on tree species classification in an urban environment using hyperspectral data, LiDAR, and an object-oriented approach ». *Sensors*, vol. 8, p. 3020-3036.
- Witford, V., E. A. R. et H. J. F. 2001. « "City form and natural process" - indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 57, p. 91-103.
- Yang, J., L. Zhao, J. McBride et P. Gong. 2009. « Can you see green? Assessing the visibility of urban forests in cities ». *Landscape and Urban Planning*, vol. 91, p. 97-104.
- Zhang, Y. 2002. « Problems in the fusion of commercial high-resolution satellites as well as Landsat 7 images and initial solutions ». Dans *ISPRS, GeoSpatial Theory, Processing and Applications* (Ottawa, July 9-12).
- Zhou, W. et A. Troy. 2008. « An object-oriented approach for analysing and characterizing urban landscape at the parcel level ». *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11, no 10, p. 3119-3135.
- Zhou, W., A. Troy et M. Grove (dir.). 2006 (Denver). p. 2693-2696.