

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**  
affiliée à l'Université de Montréal

**Inventaire de l'offre de stationnement  
de la ville de Québec**

**PAUL CHARBONNEAU**  
Département de Génie civil et des mines

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*  
Génie civil

Juin 2025

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

**Inventaire de l'offre de stationnement  
de la ville de Québec**

présenté par **Paul CHARBONNEAU**

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*  
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

**TBD TBD**, président

**Catherine MORENCY**, membre et directrice de recherche

**TBD TBD**, membre et codirectrice de recherche

**TBD TBD**, membre

**TBD TBD**, membre externe

## DÉDICACE

*TBD*

*TBD... .*

## REMERCIEMENTS

Texte / Text.

## RÉSUMÉ

À Compléter

**ABSTRACT**

To Be completed

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE . . . . .	iv
REMERCIEMENTS . . . . .	v
RÉSUMÉ . . . . .	vi
ABSTRACT . . . . .	vii
TABLE DES MATIÈRES . . . . .	viii
LISTE DES TABLEAUX . . . . .	x
LISTE DES FIGURES . . . . .	xi
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS . . . . .	xii
 CHAPITRE 1 INTRODUCTION . . . . .	1
1.1 Éléments de la problématique . . . . .	1
1.1.1 Variabilité de l'objet . . . . .	2
1.1.2 Données . . . . .	2
1.1.3 Enjeux . . . . .	2
1.2 Objectifs de recherche . . . . .	3
1.3 Plan du mémoire . . . . .	3
 CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE . . . . .	4
2.1 Typologie de stationnement . . . . .	4
2.2 Méthodes d'inventaire basées sur des données géoréférencées . . . . .	5
2.3 Méthodes d'inventaire basées sur l'imagerie aérienne . . . . .	6
2.4 Politiques de stationnement . . . . .	7
2.4.1 Stationnement hors-rue . . . . .	7
2.5 Coûts de provision . . . . .	7
2.5.1 Propriétaires fonciers et municipalités . . . . .	8
2.6 Effet de l'offre de stationnement sur la mobilité . . . . .	8
2.7 Allocation, tarification et ratissage . . . . .	10
2.8 Utilisation de la capacité existante . . . . .	11
2.9 Stationnement et utilisation du territoire . . . . .	11

2.10 Reconnaissance d'images . . . . .	12
<b>CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE . . . . .</b>	<b>13</b>
3.1 Données . . . . .	13
3.2 Illustration des données acquises . . . . .	16
3.2.1 Illustration - Cas 1 : Coin Gomin / Marguerite-Bourgeoys / Laurier .	16
3.2.2 Illustration - Cas 2 : Coin de la Canardières - Desroches . . . . .	18
3.3 Données de panneaux de stationnement . . . . .	19
3.4 Règlementation de stationnement hors Rue . . . . .	21
3.5 Données d'entraînement d'apprentissage machine . . . . .	22
<b>CHAPITRE 4 RÉSULTATS . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>CHAPITRE 5 CONCLUSION . . . . .</b>	<b>24</b>
5.1 Synthèse des travaux . . . . .	24
5.2 Limitations de la solution proposée . . . . .	24
5.3 Améliorations futures . . . . .	24

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 3.1	Géobases pour le territoire de la ville de Québec . . . . .	14
Tableau 3.2	Champs de la géobase de panneaux de stationnement de la ville de Québec (Ville de Québec, 2024a) . . . . .	15
Tableau TABLEAChamps	Champs requis dans la base de données de stationnement . . . . .	21

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Typologie de stationnement hors rue (Morency et al., 2017) . . . . .	4
Figure 2.2	Typologie de stationnement sur rue (Morency et al., 2017) . . . . .	5
Figure 3.1	Données disponibles intersection Laurier . . . . .	17
Figure 3.2	Données disponibles intersection Laurier . . . . .	18
Figure 3.3	Types d'unités de voisinage . . . . .	22

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

SIG	Système d'Information Géographique
GPS	Global Positionning System
CNN	Convolutionnal Neural Networks
OSM	OpenStreetMap
TC	Transport en Commun
PLUTO	Primary Land Use Tax Lot Output

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Les requis d'entreposage sont une partie intégrante des coûts associés à différents modes de transports. La deuxième moitié du 20<sup>ième</sup> siècle a vu une augmentation marquée de l'automobile, dont l'entreposage est très gourmand en espace. Pour la plupart des juridictions, la solution fut le développement des requis de stationnement minimum. Ces requis avaient pour but de faire internaliser aux développeurs, habitants, commerçants et employeurs les coûts associés à la mise à disposition d'entreposage pour moyen de transports de leurs visiteurs, plutôt que de demander au contribuable de directement payer pour un stationnement public (Shoup, 2005).

Cette rationnelle bien intentionnée a eu de nombreuses conséquences malencontreuses. En essayant de rendre le stationnement gratuit et disponible en tout point, la plupart des juridictions Nord-Américaines ont créé entre 2 et 14 places de stationnement pour chaque automobile (Scharnhorst, 2018). Cette offre de stationnement abondante et gratuite à l'utilisation constitue une subvention chiffrée aux alentours de 5000\$ par année-véhicule (Litman, 2023) payés sous forme de loyers, de biens et services et de dommages environnementaux.

Malgré ces coûts élevés, il n'existe pas d'inventaire complet des places de stationnements pour les municipalités québécoises, constituant un frein autant à la compréhension des enjeux qu'à l'établissement de politiques chiffrées permettant de mieux arbitrer les besoins d'entreposage de véhicules privés avec d'autres objectifs sociétaux comme la réduction des coûts totaux de transport, l'équité et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cette thèse aura pour but de dresser un inventaire de l'offre de stationnement et de sa tarification pour la ville de Québec.

### 1.1 Éléments de la problématique

La ville de Québec est en voie de se doter d'une politique de stationnement, une étape franchie pour la ville de Montréal en 2016 (Ville de Montréal, 2016). Cela étant dit, il n'existe à l'heure actuelle pas d'inventaire de la quantité de stationnement disponible, de sa tarification et de la variation temporelle de cette offre. Cette section présentera certains des enjeux reliés à la mise en place d'un tel inventaire et reprend des éléments de (Bourdeau, 2014) qui a tenté un inventaire similaire pour la région de Montréal.

### 1.1.1 Variabilité de l'objet

Malgré les définitions posées à la section 2.1, l'objet stationnement peut varier énormément dans le temps et l'espace. D'une part, l'augmentation de la taille des voitures **citation** va avoir la tendance à réduire le nombre de véhicules entreposables. De l'autre, les variations de capacité dans le temps, du fait de l'interdiction règlementaire, de la création de stationnements impromptus sur des terrains privés pour gérer des pointes ou du fait de l'accumulation de débris peut aussi faire varier les quantités de stationnement. D'autre part, la diversité de types rend la collecte de données difficile.

### 1.1.2 Données

L'un des principaux problèmes à la mise en place d'un inventaire relate aux données. Des données directes sur l'offre de stationnement existent sous forme directe (plans de constructions, comptages) ou indirectes (panneaux de stationnements, données sur les bornes fontaines et les entrées charrières). Des données sur l'utilisation de stationnement existent aussi sous forme directe(relevés de transactions de parcomètres) ou indirectes(résultats d'enquête OD).

L'accès à ces données ainsi que leur complétude est ici un enjeu, du fait de la protection de la vie privée, de la complétude et la précision des données obtenues et le format dans lequel elles sont disponibles (bases de données SIG, formats propriétaires de transaction, ortho-photos). Cette variabilité rend un portrait juste de la situation difficile à rendre.

### 1.1.3 Enjeux

Bourdeau (2014) mentionne les enjeux reliés à la provision de stationnement et ses effets sur la mobilité. À cela s'ajoutent trois formes d'arbitrage ; une dimension spatiale entre différentes formes de mobilités qui sont en compétition pour un espace limité, particulièrement dans les milieux urbains denses avec un cadre bâti patrimonial et des besoins croissants sur ce même espace ; la deuxième est politique où l'offre de stationnement est devenue un enjeu de taille pour beaucoup de ménages, sans réellement que le débat ne soit cadré par des données ; le troisième est économique où la provision de stationnement par mandat gouvernemental réduit la viabilité financière de projets de construction du fait de la quantité de terre et de construction supplémentaire imposée par ces mandats. De plus, des coûts supplémentaires pour les infrastructures routières qui doivent contourner ces stationnements « spatio-phage » ainsi que la dilution de la base foncière pour financer cette infrastructure sont une double pénalité pour les finances des municipalités.

## 1.2 Objectifs de recherche

L'objectif principal de la recherche est de développer un système d'information de l'offre de stationnement dans le contexte de la Capitale-Nationale. Le système d'information devra lister le prix et la disponibilité temporelle des places de stationnement hors rue et sur rue. Les sous-objectifs suivants sont poursuivis :

1. Créer un outil automatisé d'analyse d'image satellite pour recenser le stationnement hors-rue.
2. Dresser un inventaire basé sur le code d'urbanisme et les données de rôle foncier.
3. Adapter la méthode de Bourdeau (2014) au contexte de la capitale.
4. Dresser un inventaire des coûts marginaux de provision de nouveaux stationnements et de coûts de maintenance directs(nettoyage, pavage) et indirects (Longueur du réseau routier supplémentaire, variation de la valeur foncière par acre en fonction de la provision de stationnement) du stationnement.
5. Fusionner les sources de données mentionner ci-haut pour dresser un inventaire statistiquement significatif de la capacité de stationnement
6. Établir des indicateurs d'utilisation de stationnement basé sur l'inventaire de stationnement et les données d'enquête origine-Destination en modifiant la méthodologie définie par Diallo et al. (2015).

## 1.3 Plan du mémoire

Le mémoire se divisera en 5 chapitres. Le chapitre 1 est une introduction qui présente le sujet, ses problématiques et la pertinence de l'étude. Le chapitre 2 est une revue de littérature sur les méthodes d'inventaire de places de stationnement, des coûts associés à la provision de différents types de stationnements hors-rue et aux effets de la variation de l'offre en capacité et tarifaire sur la mobilité des personnes. Le chapitre 3 portera sur les données disponibles et les méthodologies utilisées pour faire l'inventaire de l'ensemble des places de stationnement disponibles. Le chapitre 4 présentera l'inventaire complété pour le stationnement dans la capitale nationale. Le chapitre 5 présentera une synthèse des travaux, les limitations de la méthode utilisée et de potentielles améliorations futures.

## CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Cette section aura pour but de dresser l'état des connaissances sur les politiques de stationnement, l'estimation de la capacité de stationnement, les outils d'analyse d'images satellites utilisés pour la détection automatique d'objets, les coûts associés à la provision du stationnement et les méthodes d'estimations pour les stationnements en structure.

### 2.1 Typologie de stationnement

Morency et al. (2017) détaillent une typologie de stationnement pour le stationnement hors rue et sur rue pour la région métropolitaine de Montréal montrés aux figures 2.1 et 2.2

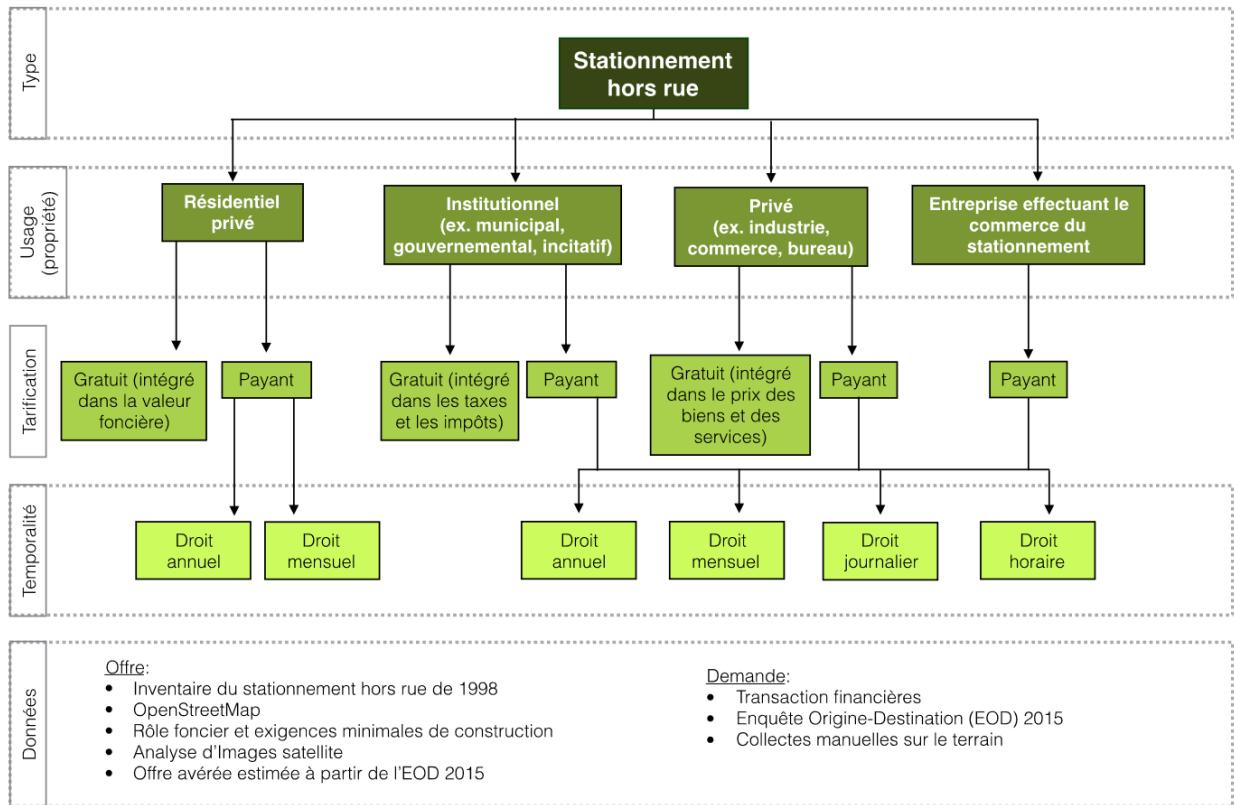


FIGURE 2.1 Typologie de stationnement hors rue (Morency et al., 2017)

Il est important de noter qu'il n'existe pas à la connaissance de l'auteur un inventaire tel que celui complété par le ministère des transports pour la ville de Montréal (Consortium CIMA+ - Daniel Arbour et associés, 1998).

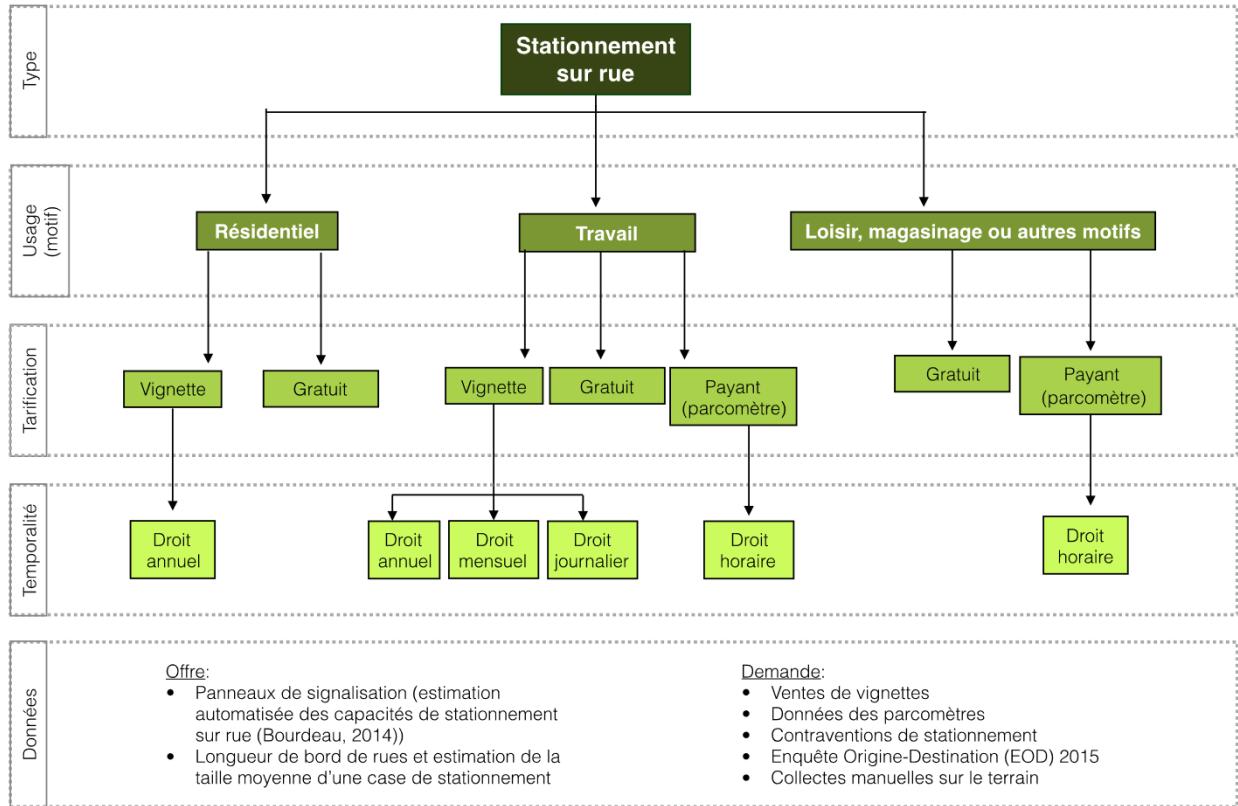


FIGURE 2.2 Typologie de stationnement sur rue (Morency et al., 2017)

## 2.2 Méthodes d'inventaire basées sur des données géoréférencées

La revue de littérature a révélé plusieurs différentes méthodologies utilisées pour recenser l'offre de stationnement hors rue et sur rue. Chester et al. (2015) utilisent des données basées sur le rôle foncier, un modèle de croissance de la construction et des données de recensement croisés avec les minimums de stationnement issus des codes d'urbanisme pour inférer la capacité de stationnement de la région de Los Angeles. Les auteurs indiquent qu'ils estiment que les minimums mis en place sont probablement le nombre de places construites du fait de la valeur marginale basse de la place de stationnement par rapport à la construction de bâtiments. Chester et al. fait aussi l'estimé de la capacité de stationnement utilisant une méthode similaire basée sur les codes d'urbanismes et les données foncières pour la région de San Francisco (Chester et al., 2022) et Phoenix (Hoehne et al., 2019). Scharnhorst (2018) fait pour sa part un inventaire de 5 régions métropolitaines aux États-Unis utilisant encore une fois des méthodes basées sur les codes d'urbanisme en vigueur à la période de construction. Ce dernier n'est cependant pas revu par les pairs.

Bourdeau (2014) détaille une méthode d'inventaire de places de stationnement sur rue basé

sur l'utilisation des données de réseaux routiers, de panneaux de stationnement et d'archive cadastrale pour déterminer le nombre de places de stationnements sur rue. Cette approche permet de mieux identifier les limites règlementaires et temporelles que les approches utilisées par Chester et al. (2022) et Scharnhorst (2018). En effet, ces dernières n'enlèvent de la capacité que sur une base de moyennes pour les intersections, arrêts de bus sans prendre en compte la géométrie locale ou des contraintes qui ne peuvent être adéquatement capturées par OpenStreetMap (OSM). Dans les 3 cas, l'inventaire sur rue est fait avec des largeurs d'intersection moyenne, avec des retraits pour les entrées et la réglementation utilisant des heuristiques plutôt que la réglementation.

Il est important de noter que ce type d'inventaire fait l'hypothèse que les développeurs construisent selon la norme. Stangl (2019) indiquent que les développeurs immobiliers ne respectent pas nécessairement cette hypothèse car leur but est de minimiser les risques de non-ventes et leurs perceptions ne sont pas alignées avec l'utilisation réelle des stationnements. Ironiquement, les développeurs ont tendance à bâtir plus de stationnement dans des voisinage de typologie « Old Urban » (Voulgaris et al., 2017) alors que ce sont précisément les quartiers où les gens ont une plus faible propension à conduire. Stangl (2019) comporte des entrevues avec des développeurs immobiliers qui illustrent l'effet structurant des minimums de stationnement sur les décisions de construction, mais aussi certains biais dans la prise de décision vis-a-vis du stationnement.

### **2.3 Méthodes d'inventaire basées sur l'imagerie aérienne**

Akbari et al. (2003) utilisent des orthophotos couleurs avec une résolution de 0.3m pour identifier le pourcentage d'utilisation des sols de différentes surfaces(bâtiments, verdure, stationnements etc). Une approche de Monte-Carlo est utilisée où un sous-ensemble de pixels se voit assigner une utilisation des sols manuellement pour chaque sous-ensemble de photos basé principalement sur la couleur du pixel. Le nombre de pixels manuellement identifié est validé contre la convergence du pourcentage d'utilisation des sols jusqu'à un seuil de 1%. Une fois ce sous-ensemble identifié l'utilisation des sols est assignée à l'ensemble des pixels de l'orthophoto.

Davis et al. (2010) utilisent une méthode où un sous ensemble des codes postaux d'une région voient leur stationnement hors rue recensé manuellement. Une régression basée sur une codification d'« urbanité » des codes postaux issue du recensement est ensuite utilisée pour inférer l'offre de stationnement hors rue non résidentielle sur un territoire s'étendant sur 4 états dans le Midwest des États-Unis. La méthode est validée sur un sous-ensemble de données qui n'est pas utilisé pour la régression et les auteurs constatent une erreur de 5%

entre la valeur inférée par régression et la valeur mesurée manuellement pour le sous-ensemble de contrôle.

L'augmentation de la capacité de calcul numérique et la démocratisation des méthodes d'apprentissage machine a mené Hellekes et al. (2023) à utiliser la photographie aérienne et des données OSM pour identifier les aires de stationnement à l'aide d'une méthode Dense-U-Net. D'autre part, les auteurs utilisent plusieurs ensembles d'orthophotos d'une même zone et les données OSM pour identifier les zones de stationnement non démarquées, intermittentes ou informelles comme les trottoirs et jardins. Des méthodes de régression Bayesienne sont utilisées pour introduire explicitement l'incertitude dans la reconnaissance de l'objet stationnement. Henry et al. (2021) est un autre article par la même équipe de recherche qui donne un aperçu des différentes méthodes d'apprentissage machine utilisées jusqu'à présent pour identifier des objets dans un périmètre urbain. D'autre part, ils indiquent que la méthodologie de fusion choisie influe les résultats en fonction du type d'objet reconnu. Par exemple, l'inclusion des données OSM améliore l'identification de routes et de voies d'accès, mais nuit à l'identification de stationnement.

## **2.4 Politiques de stationnement**

### **2.4.1 Stationnement hors-rue**

Selon Shoup (2005), les minimums de stationnement ont vu le jour dans les années 50 en réponse à la croissance du parc automobile et pour assurer que les commerçants et citoyens internalisaient les coûts associés à l'automobile. Ce mécanisme réglementaire est encore omniprésent au Québec puisque seuls les arrondissements de Côte des Neiges, du Sud-Ouest, du Plateau Mont-Royal et du Centre-Ville de Montréal **bisous de citations**. La ville de Québec est en processus d'abroger ces requis pour l'habitation pour les zones en milieu dense ou le long des axes de transport en commun (Ville de Québec, 2024b).

Ces codes ont été utilisés pour faire l'inventaire de stationnement dans plusieurs métropoles. Cela étant dit, l'historique de fusion de municipalités et la difficulté de trouver des codes d'urbanisme avant 1995 rend l'utilisation des ces données relativement difficile. La figure suivante est tirée de l'historique des fusions du site de la ville de Québec :

## **2.5 Coûts de provision**

Plusieurs coûts sont associés à la provision de stationnement, autant pour les individus, que pour les collectivités locales ou des tierces parties plus difficiles à identifier dans le cas

d'externalités. Cette section visera à identifier quels sont les coûts associés et qui les porte.

### **2.5.1 Propriétaires fonciers et municipalités**

Blanc et al. (2014) ont estimé la valeur foncière de 6 villes américaines en évaluant la valeur foncière des bâtiments et des stationnements extérieurs. En comparant le tissu urbain entre 1950 et 2010, les auteurs ont estimé la différence de valeur foncière et de revenu entre les deux configurations. Dans certains, les municipalités avaient accepté de détruire leur centre-ville pour permettre le développement de tours à bureau entourés de stationnements. Dans d'autres, les municipalités avaient largement conservé le tissu urbain d'avant guerre. Dans tous les cas, le revenu foncier associé au stationnement était entre 5 et 10x moindre que le revenu associé aux bâtiments. L'étude est cependant associative puisqu'il est difficile d'isoler la nature causale entre la dilution du revenu foncier et la provision de stationnement mais illustre les coûts d'opportunité associés à l'entreposage de véhicules personnels.

## **2.6 Effet de l'offre de stationnement sur la mobilité**

Chester et al. (2015) constatent que la capacité de stationnement est la plus haute dans le centre de la ville, mais que la croissance du parc de stationnement a principalement lieu sur le périmètre de la région. Ils constatent aussi que le parc de stationnement a cru plus vite que la capacité routière, mais a suivi l'offre de stationnement résidentielle.

Guo (2013) créé un modèle logit imbriqué pour identifier l'effet de l'offre de stationnement sur la motorisation des ménages de l'enquête OD de New York et trouve que la disponibilité de stationnement dans l'entrée et en bord de rue est potentiellement un plus grand déterminant de la motorisation qu'un garage. L'auteur suggère aussi que les programmes de vignette ont potentiellement des conséquences inattendues où la réduction de l'achalandage des stationnements par les non-résidents mène à une motorisation accrue des résidents, éliminant l'effet bénéfique de la réduction de l'offre des non-résidents. D'autre part, l'auteur trouve que la présence de nettoyage de rue réduit l'utilité marginale d'un véhicule supplémentaire et réduit la motorisation. Ces constats sont cependant limités au contexte de New York qui est une ville relativement dense avec une bonne desserte de transport en commun.

**Yin:BuiltEnvironment:2018<empty citation>** associent eux aussi de manière significative la disponibilité du stationnement aux deux extrémités des déplacements à la possession et l'utilisation accrue d'automobile quoique la formulation des résultats rend difficile l'interprétation de la taille de l'effet.

Weinberger et al. (2009) font une analyse comparative entre Jackson Heights et Park Slope

à New York. Jackson Heights a une part modale en auto-solo vers le centre-ville qui ne suit pas les principaux indicateurs de la motorisation (le revenu du ménage et la densité) et qui n'est pas expliqué par la desserte en Transport en commun (TC) des deux quartiers. Les auteurs estiment l'offre de stationnement au travers du registre Primary Land Use Tax Lot Output (PLUTO) pour les bâtiments de 4 logements et plus ainsi qu'un échantillonage pour les bâtiments comportant moins de 4 logements. Les auteurs ont constaté que Jackson heights a 156% plus d'offre de stationnement. Malgré le fait que Park Slope ait 46% plus de stationnement en structure et en surface hors résidence, Jackson Heights a quatre fois plus d'espaces de stationnements privatifs dans les résidences. Les auteurs établissent ensuite des prospectives pour le développement résidentiel planifié par la ville et estiment que les résidents de ces nouveaux développements auront entre 42 et 49% plus de chance d'être motorisés que les habitants actuels du fait des requis de stationnement minimum présentement en effet. Bien que l'étude ne soit pas très robuste statistiquement, les auteurs concluent que les requis de stationnement minimum ne sont pas une bonne politique puisqu'ils éffritent la qualité de l'environnement pour les marcheurs et augmentent l'attractivité de la possession d'une automobile. Les auteurs encouragent une étude systématique des liens entre la provision de stationnement, la motorisation et le choix modal.

Deux études dans le contexte norvégien (Christiansen, Engebretsen et al., 2017 ; Christiansen, Fearnley et al., 2017) créent des modèles associatifs à partir d'enquêtes origine destination nationales. Christiansen, Engebretsen et al. (2017) trouvent que la limitation de la capacité de stationnement au travail avec une tarification est le moyen le plus efficace pour réduire la part modale de l'automobile pour ce type de trajet. Une tarification horaire ou journalière est aussi plus efficace pour réduire les trajets automobiles puisque le coût marginal pour chaque utilisation du stationnement est perçue par l'utilisateur. D'autre part, les auteurs trouvent que la proximité du stationnement au lieu d'habitation dans les milieux denses avec beaucoup d'offre de service à proximité. Les auteurs indiquent cependant qu'il y a des risques d'auto-sélection et d'endogénéité avec leur étude, un problème récurrent avec les études reliées au stationnement (Inci, 2015). Christiansen, Fearnley et al. (2017) comparent les comportements de mobilité pour différents degrés d'accès au stationnement à la résidence. Ils trouvent qu'une distance d'accès supérieure à 50m a un effet marqué sur le choix modal sans affecter le nombre de trajets. Les trajets non-contraints voient une plus grande différence de choix modal que les trajets motif travail. D'autre part, ils constatent peu de différence dans les taux de mobilité entre les ménages motorisés et non-motorisés, inférant que les dispositions de stationnement et de motorisation ont peu d'effet sur le bien-être. Les auteurs concluent qu'une gestion intégrée du stationnement qui inclut une combinaison d'une tarification 24/7 de règlements qui séparent le stationnement du logement physiquement et juridiquement et une gestion

du nombre total de places de stationnement sont des leviers utiles pour gérer la demande de transport. Ils constatent le manque de lien causal dans leur étude, qui bien que non-nécessaire pour l'établissement de politique efficace, est regrétable d'un point de vue scientifique.

Dans le contexte chinois, **Yin:BuiltEnvironment:2018<empty citation>** dressent des constats similaires à Christiansen, Fearnley et al. (2017) et Christiansen, Engebretsen et al. (2017) quant à l'influence de la disponibilité du stationnement à l'origine et la destination d'un trajet, même en contrôlant pour l'utilisation du territoire et les variables socio-démographiques, mais utilisent seulement des mesures agrégées de disponibilité totale de stationnement.

Currans et al. (2023) crée un modèle de régression et une analyse de médiation pour lier l'effet de l'offre de stationnement résidentiel hors-rue avec la motorisation et les kilomètres parcourus par ménage et constatent que les ménages ayant des contraintes de stationnement (moins d'un stationnement par unité) parcourent moins de 10-23% moins de kilomètres à typologie de voisinage constante. Les auteurs encouragent la présence de plus de questions sur les conditions de stationnement dans les enquêtes ainsi qu'à la création d'un inventaire de stationnement.

McCahill et al. (2016) observe la relation entre la provision de stationnement avec la part modale de l'automobile sous le prisme du critère de Bradford-Hill pour inférer que la provision de stationnement est la cause probable de l'augmentation de la part modale de l'automobile.  
cet article est intéressant mais le critère est très sujet à interprétation

## 2.7 Allocation, tarification et ratissage

Une littérature économique riche existe sur les différents mécanismes d'allocation de places de stationnement qui est résumée par Inci (2015), sur laquelle est largement basée cette section. Dès les premiers pas de la discipline, dans les années 50, la mise en place d'une tarification sur les infrastructures routières, variable dans le temps et l'espace, est identifié comme une condition nécessaire pour réduire les externalités reliées au ratissage, la congestion et les externalités liées au transport urbain de personnes (Vickrey, 1994). Les tentatives les plus intéressantes d'instaurer un marché variables viennent de San Francisco et Seattle où des projets pilotes ont été implantés. Les études portant sur ces deux pilotes ont trouvé que la demande est initialement inélastique mais que le maintien de la politique amène des améliorations sur la disponibilité à long terme. Chatman et Manville (2014) ont étudié l'implémentation de SFPark, le programme de tarification variable de San Francisco, ont eu des résultats mitigés. Bien que le taux d'occupation moyen, qui était l'indicateur utilisé pour

faire varier la tarification, ait été réduit à environ 80%, le taux de disponibilité (le pourcentage de temps où au moins un place est disponible sur un tronçon) n'était pas sensible au prix avec les modalités politiques, l'imposition de prix plafond, la lenteur de l'adaptation du prix et le choix d'indicateur pour la tarification sont déterminants pour réduire les externalités liées à la recherche de stationnement. Cela amène un questionnement plus large sur la viabilité politique d'un système de tarification.

van Ommeren et al. (2011) infèrent la propension à payer pour un stationnement des résidents d'Amsterdam en utilisant les préférences révélées par le choix d'achat de résidence. En utilisant des données de ventes de résidences et en capitalisant la différence de de prix sur le temps d'attente pour un permis de stationnement résident, les auteurs estiment une propension à payer de 10€ par jour, bien au-dessus du prix réel de 0.40€ et bien en-dessous des recettes possibles pour les places tarifées aux visiteurs qui paient 2.3€ par heure.

Inci (2015) mentionne les éléments suivants comme manquants à la recherche : l'effet de la prévention de la fraude, l'économie politique du stationnement, les interactions entre véhicules stationnés et en mouvement et l'établissement de l'élasticité de la demande dans plusieurs contextes spacio-temporels. Il est intéressant de noter qu'aucune mention n'est fait des coûts d'opportunités infligés aux autres modes ou activités par le stationnement dans la revue économique.

## 2.8 Utilisation de la capacité existante

Translink et Metro Vancouver Regional Planning (2019) a sondé les taux d'occupation des blocs appartement et du stationnement sur rue dans la grande région de Vancouver. Pour l'échantillon donné, entre 30 et 40% de la capacité de stationnement n'était pas utilisée. L'étude constate aussi que la demande de stationnement est plus faible chez les locataires que les propriétaires. Cela étant dit, l'étude ne recèle pas les résultats sur l'ensemble du parc immobilier et n'utilise pas de test statistiques pour valider la significativité de leur résultats. La conception de l'étude n'a pas permis de quantifier les interactions entre le stationnement hors rue et sur-rue pour les blocs appartements mais indique qu'anecdotalement, les praticiens ont constaté que les résidents utilisaient le stationnement sur rue plutôt qu'en sous-sol lorsqu'il n'y avait pas de restriction sur le stationnement sur rue.

## 2.9 Stationnement et utilisation du territoire

Chester et al. (2015) trouvent que 16% de la région est utilisée pour le stationnement, plus que l'ensemble du réseau routier. D'autre part, le centre-ville a vu une forte croissance de

stationnements en structure et sous-terrains où les valeurs de terrains sont hautes. Les auteurs concluent qu'il y a 3.3 places de stationnement par véhicule et que la plupart de la croissance du parc de stationnement a eu lieu entre 1950 et 1980.

Davis et al. (2010) estiment que 4.97% de l'espace urbain est utilisé par le stationnement hors rue commercial(sans compter sur rue ou résidentiel). Ils estiment environ 1.8 places par voiture, 5.3 places par ménage et 1.7 places par adultes. À noter que l'indicateur ne mesure pas la même chose que Chester et al. (2015) puisque ce dernier inclut les stationnements sur rue et résidentiel.

## 2.10 Reconnaissance d'images

Les problèmes de reconnaissance d'images se divisent en trois types de solution ; la classification consiste à dire si une image contient un objet ou appartient à une class d'image ; la détection consiste à trouver un objet dans une image et à l'illustrer typiquement au moyen d'une boîte englobante ; la segmentation sert à illustrer les contours détaillés d'un objet.

## CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

La section méthodologique sera divisée en trois sections. La première présentera les jeux de données disponibles dans le contexte de la ville de Québec. La deuxième présentera une plan d'ensemble de la méthodologie et des moyens encourus pour faire l'inventaire du stationnement et la troisième.

### 3.1 Données

Le tableau 3.1 résume les données disponibles pour la ville de Québec et leur source.

Géobase	Type	Description	Source	Date public.
vdq-panneauxstationnement	Points	Panneaux de stationnement sur rue	Ville de Québec / Données Québec	5 mai 2024
vdq-bornesfontaines	Points	Bornes fontaines sur rue	Ville de Québec / Données Québec	12 mai 2024
vq_reseau_routier_2023	Polylinnes	Bords de voiries pour circulation automobile	Ville de Québec / Geo-index	12 juin 2023
vq_stationnement_2021	Polylinnes	Bords des aires de stationnement	Ville de Québec / Geo-index	8 mai 2021
vdq_voie_publique	Lignes	Centres de chaussées trottoirs séparés et pistes cyclables	Ville de Québec / Geo-index	16 avril 2024
Usages prédominants 2023	Polygones	Usages prédominants du sol	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation	21 mai 2024
Arrêts bus et à vélo 2024	Points et polylinnes	Arrêts de bus, parcours des lignes et bornes vélo-partage	Réseau de transport de la capitale	31 mai 2023
Année de construction des chaussées	Polylinnes	Année de construction des rues	Ville de Québec / Géoindex	28 mai 2024
highway	Polylinnes	Centres de chaussées	OSM	13 mai 2024
parking	points et polygones	Stationnement recensés dans OSM	OSM	2 mai 2024
parking entrance	Points	Entrées de stationnement sous-terrains	OSM	2 mai 2024

TABLEAU 3.1 Géobases pour le territoire de la ville de Québec

Nom du champs	Type Contenu	Description	Exemple
ID	Entier	Entier identifiant unique pour chaque panneau	370758
TYPE_CODE	Texte	Code d'identification de chaque type de panneau de stationnement	PP1016
DESCRIPTION	Texte	Texte imprimé sur le panneau	Stat. int. 16h-18h LUN À VEN (fl. dou.)

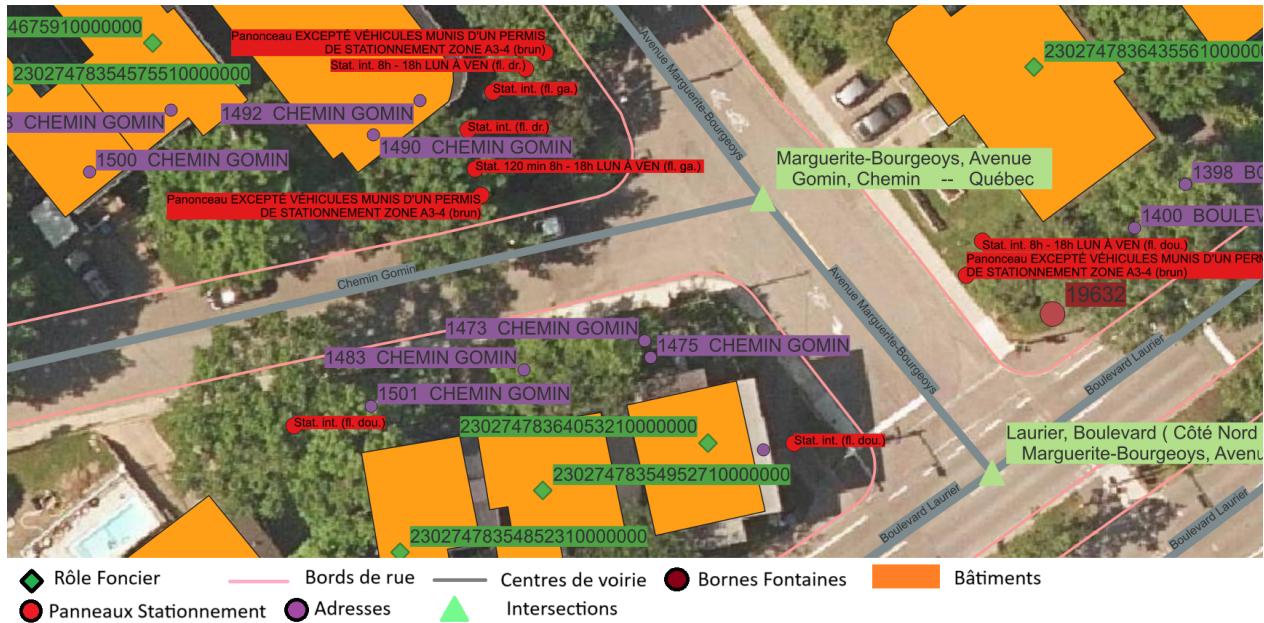
TABLEAU 3.2 Champs de la géobase de panneaux de stationnement de la ville de Québec (Ville de Québec, 2024a)

### 3.2 Illustration des données acquises

La section suivante va donner un aperçu de quelques intersections typiques pour illustrer les données disponibles. Les mêmes quelque cas seront illustrés à des fins illustratives. Le but principal est d'illustrer les enjeux.

#### 3.2.1 Illustration - Cas 1 : Coin Gomin / Marguerite-Bourgeoys / Laurier

Les figures 3.1a et 3.1b donnent un aperçu des données disponibles pour l'intersection nommée ci-dessus. On constate que plusieurs panneaux sur un même poteau ne sont pas représentés géographiquement au même endroit. D'autre part, la présence de panonceaux donne des exceptions aux limitations de temps de stationnement. De plus, la ville a à sa disposition une géobase de bords de rue mais aucune information n'est disponible pour associer le bord de rue à un tronçon donné. Le même constat est possible pour les panneaux de stationnement dont les seuls informations sont un identifiant, la description et un identifiant de panneau. Ils ne sont pas associés à un tronçon ou un côté de rue. L'une des conséquences de la dispersion des panneaux est aussi la difficulté d'assigner les panneaux à un tronçon aux intersections puisque le panneau peut être plus proche d'un bord de rue autre du fait du décalage des panneaux dans l'espace. Dans ce cas-ci, le panneau Stat. int. (fl. ga.) est à 6m de la rue Marguerite Bourgeoys et 9m de la rue Gomin.



(a) Données linéaires disponibles



(b) Données polygonales disponibles

FIGURE 3.1 Données disponibles intersection Laurier

### 3.2.2 Illustration - Cas 2 : Coin de la Canardières - Desroches

Les figures 3.2a et 3.2b illustre les mêmes données à un autre coin de rue. Ici, la localisation des panneaux porte encore plus à confusion puisque les panneaux de 2 tronçons de rue sont quasiment superposés. Il sera donc difficile d'assigner les panneaux aux bords de rues automatiquement lorsque ces derniers sont aux abords des intersections.

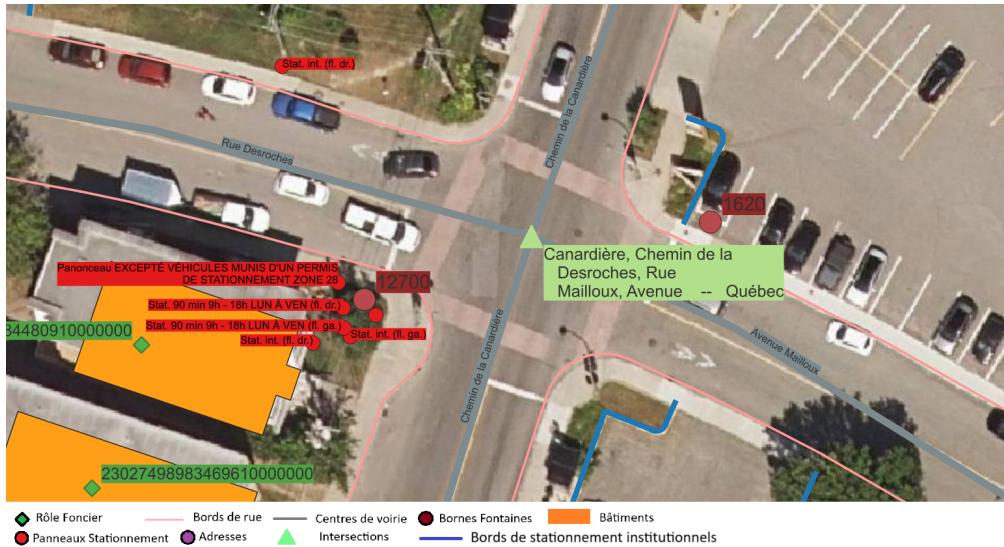


FIGURE 3.2 Données disponibles intersection Laurier

### 3.3 Données de panneaux de stationnement

Les panneaux ne sont pas classifiés de manière à être facilement lisible par machine. Aucun index des panneaux de stationnement n'existe à la connaissance de l'auteur. Une classification semi automatisée en isolant certains morceaux de chaînes de caractères a donc été créée pour rendre les panneaux de stationnement compatibles avec la structure de base de données énoncée dans Bourdeau (2014) et Morency et al. (2022). Pour être plus explicite, les champs suivants sont assignés à chaque panneau :

Champs	Type	Description	Valeur possibles
DUREE	Entier	Durée maximale de stationnement	0-120
_MAX_			
MINUTES			
TYPE_1	Entier	Clientèle spécifique de ce panneau	0-11
TYPE_2	Entier	Clientèle spécifique de ce panneau	0-11
ANNUEL	Booléen	Règlementation applicable à l'année	Vrai-Faux
Date_debut_1	Entier	Date d'entrée en vigueur de la règlementation	0-365
Date_fin_1	Entier	Date de fin de la règlementation	0-365
Date_debut_2	Entier	Date d'entrée en vigueur de la règlementation	0-365
Date_fin_2	Entier	Date de fin de la règlementation	0-365
Q	Booléen	Règlementation applicable de manière quotidienne	Vrai - Faux
Q_d_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
Q_f_1	Float	Heure de fin de la règlementation	0-24
Q_d_2	Float	Heure de début de la deuxième période de validité de la règlementation	0-24
LU	Booléen	Règlementation applicable un lundi (Q est nécessairement faux)	Vrai - Faux
LU_debut_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
LU_fin_1	Float	Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
LU_debut_2	Float	Deuxième Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
LU_fin_2	Float	Deuxième Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
MA	Booléen	Règlementation applicable un mardi (Q est nécessairement faux)	Vrai - Faux
MA_debut_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
MA_fin_1	Float	Heure d'arrêt de la règlementation	0-24

MA_debut_2	Float	Deuxième Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
MA_fin_2	Float	Deuxième Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
ME	Booléen	Règlementation applicable un jeudi (Q est nécessairement faux)	Vrai - Faux
ME_debut_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
ME_fin_1	Float	Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
ME_debut_2	Float	Deuxième Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
ME_fin_2	Float	Deuxième Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
JE	Booléen	Règlementation applicable un jeudi (Q est nécessairement faux)	Vrai - Faux
JE_debut_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
JE_fin_1	Float	Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
JE_debut_2	Float	Deuxième Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
JE_fin_2	Float	Deuxième Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
VE	Booléen	Règlementation applicable un vendredi (Q est nécessairement faux)	Vrai - Faux
VE_debut_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
VE_fin_1	Float	Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
VE_debut_2	Float	Deuxième Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
VE_fin_2	Float	Deuxième Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
SA	Booléen	Règlementation applicable un samedi (Q est nécessairement faux)	Vrai - Faux
SA_debut_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
SA_fin_1	Float	Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
SA_debut_2	Float	Deuxième Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
SA_fin_2	Float	Deuxième Heure d'arrêt de la règlementation	0-24
DI	Booléen	Règlementation applicable un samedi (Q est nécessairement faux)	Vrai - Faux
DI_debut_1	Float	Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
Di_fin_1	Float	Heure d'arrêt de la règlementation	0-24

DI_debut_2	Float	Deuxième Heure d'entrée en vigueur de la règlementation	0-24
DI_fin_2	Float	Deuxième Heure d'arrêt de la règlementation	0-24

TABLEAU 3.3 Champs requis dans la base de données de stationnement

### 3.4 Règlementation de stationnement hors Rue

Le stationnement hors-rue est régi par le code d'urbanisme de la ville de Québec. Cette réglementation a été harmonisée en 2009 pour l'ensemble de la ville. Avant cela, les règles de différentes municipalités qui ont fusionnée ou scindé au cours des années ont régi la construction. À l'heure actuelle, quatre ensembles de règles de stationnement sont en place pour la ville de Québec :

- Urbain Dense
- Axe Structurant A
- Axe Structurant B
- Générale

L'affectation à chacun de ces types est faite au niveau de l'unité de voisinage. La définition spatiale des unités de voisinage est donnée dans Ville de Québec (2024d) et l'assignation de la zone est donnée dans Ville de Québec (2024c). La carte à la figure 3.3 montre les unités de voisinage pour la ville de Québec catégorisées selon la définition ci-haut :

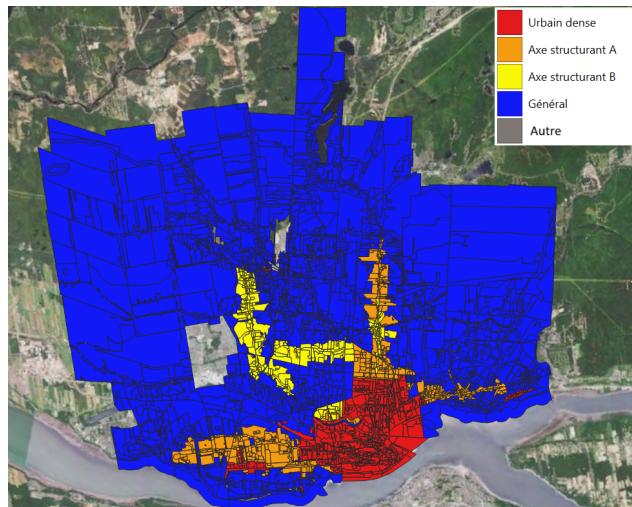


FIGURE 3.3 Types d'unités de voisinage

### 3.5 Données d'entraînement d'apprentissage machine

Plusieurs ensembles de données ont été créés pour la détection de places ouvertes dans un stationnement. Plus récemment, un ensemble de données annotés a été créé pour

## CHAPITRE 4 RÉSULTATS

Texte / Text.

## CHAPITRE 5 CONCLUSION

Texte / Text.

### 5.1 Synthèse des travaux

Texte / Text.

### 5.2 Limitations de la solution proposée

### 5.3 Améliorations futures

Texte / Text.

## RÉFÉRENCES

- Akbari, H., Shea Rose, L., et Taha, H. (2003). Analyzing the Land Cover of an Urban Environment Using High-Resolution Orthophotos. *Landscape and Urban Planning*, 63(1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00165-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00165-2)
- Blanc, B. R., Gangi, M., Atkinson-Palombo, C., McCahill, C., et Garrick, N. W. (2014). Effects of Urban Fabric Changes on Real Estate Property Tax Revenue : Evidence from Six American Cities. *Transportation Research Record*, 2453, 145-152. <https://doi.org/10.3141/2453-18>
- Bourdeau, J.-S. (2014, août). *Méthodologie d'analyse automatisée des stationnements* [mém. de mast., École Polytechnique de Montréal].
- Chatman, D. G., et Manville, M. (2014). Theory versus Implementation in Congestion-Priced Parking : An Evaluation of SFpark, 2011–2012. *Research in Transportation Economics*, 44, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.04.005>
- Chester, M., Fraser, A., Matute, J., Flower, C., et Pendyala, R. (2015). Parking Infrastructure : A Constraint on or Opportunity for Urban Redevelopment ? A Study of Los Angeles County Parking Supply and Growth. *Journal of the American Planning Association*, 81(4), 268-286.
- Chester, M., Helmrich, A., et Li, R. (2022, février). *Inventorying San Francisco Bay Area Parking Spaces : Technical Report Describing Objectives, Methods, and Results* (rapp. tech.).
- Christiansen, P., Engebretsen, Ø., Fearnley, N., et Usterud Hanssen, J. (2017). Parking Facilities and the Built Environment : Impacts on Travel Behaviour. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 95, 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.025>
- Christiansen, P., Fearnley, N., Hanssen, J. U., et Skollerud, K. (2017). Household Parking Facilities : Relationship to Travel Behaviour and Car Ownership. *Transportation Research Procedia*, 25, 4185-4195. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.366>
- Consortium CIMA+ - Daniel Arbour et associés. (1998). *Inventaire des espaces de stationnement dans la grande région de Montréal - Rapport Final* (rapp. tech.). Montréal.
- Currans, K. M., Abou-Zeid, G., McCahill, C., Iroz-Elardo, N., Clifton, K. J., Handy, S., et Pineda, I. (2023). Households with Constrained Off-Street Parking Drive Fewer Miles. *Transportation*, 50(6), 2227-2252. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10306-8>

- Davis, A. Y., Pijanowski, B. C., Robinson, K. D., et Kidwell, P. B. (2010). Estimating Parking Lot Footprints in the Upper Great Lakes Region of the USA. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.02.004>
- Diallo, A., Bourdeau, J.-S., Morency, C., et Saunier, N. (2015). Methodology of Parking Analysis. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(4), 281-285. <https://doi.org/10.1139/cjce-2013-0458>
- Guo, Z. (2013). Does Residential Parking Supply Affect Household Car Ownership? The Case of New York City. *Journal of Transport Geography*, 26, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.006>
- Hellekes, J., Kehlbacher, A., Diaz, M. L., Merkle, N., Henry, C., Kurz, F., et Heinrichs, M. (2023). Parking Space Inventory from above : Detection on Aerial Images and Estimation for Unobserved Regions. *IET Intelligent Transport Systems*, 17(5), 1009-1021. <https://doi.org/10.1049/itr2.12322>
- Henry, C., Hellekes, J., Merkle, N., Azimi, S., et Kurz, F. (2021). Citywide Estimation of Parking Space Using Aerial Imagery and OSM Data Fusion with Deep Learning and Fine-Grained Annotation. *2021 24th ISPRS Congress Commission II : Imaging Today, Foreseeing Tomorrow, July 5, 2021 - July 9, 2021*, 43, 479-485. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-479-2021>
- Hoehne, C. G., Chester, M. V., Fraser, A. M., et King, D. A. (2019). Valley of the Sun-Drenched Parking Space : The Growth, Extent, and Implications of Parking Infrastructure in Phoenix. *Cities*, 89, 186-198. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.02.007>
- Inci, E. (2015). A Review of the Economics of Parking. *Economics of Transportation*, 4(1), 50-63. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2014.11.001>
- Litman, T. A. (2023, novembre). *Comprehensive Parking Supply, Cost and Pricing Analysis* (rapp. tech.). Victoria Transport Policy Institute. Victoria, BC.
- McCahill, C. T., Garrick, N., Atkinson-Palombo, C., et Polinski, A. (2016). Effects of Parking Provision on Automobile Use in Cities : Inferring Causality. *Transportation Research Record*, 2543(1), 159-165. <https://doi.org/10.3141/2543-19>
- Morency, C., Bourdeau, J.-S., et Verreault, H. (2022, février). *Développement et Mise En Place d'un Inventaire Dynamique de Stationnement à Montréal* (rapp. tech.). Polytechnique Montréal. Montréal, QC.
- Morency, C., Paulhiac Scherrer, F., et Meloche, J.-P. (2017). *Le stationnement dans la métropole : bâtir des connaissances pour une mobilité urbaine durable - CRE Montréal* (F. Gravel, Éd. ; rapp. tech.). Conseil Régional de l'Environnement de Montréal.
- Scharnhorst, E. (2018, mai). *Quantified Parking : Comprehensive Parking Inventories for Five U.S. Cities* (rapp. tech.). Research Institute For Housing America.

- Shoup, D. (2005). *High Cost of Free Parking*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351179539>
- Stangl, K. (2019). Parking ? Lots ! Parking Over the Minimum in Los Angeles. <https://doi.org/10.17610/T65P41>
- Translink et Metro Vancouver Regional Planning. (2019, mars). *The 2018 Regional Parking Study* (rapp. tech.). Vancouver, BC.
- van Ommeren, J., Wentink, D., et Dekkers, J. (2011). The Real Price of Parking Policy. *Journal of Urban Economics*, 70(1), 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2011.02.001>
- Vickrey, W. (1994). Statement to the Joint Committee on Washington, DC, Metropolitan Problems (with a foreword by Richard Arnott and Marvin Kraus) - ScienceDirect (R. Arnott et M. Kraus, Éd.). *Journal of Urban Economics*, 36(1), 42-65. <https://doi.org/10.1006/juec.1994.1025>
- Ville de Montréal. (2016). Politique de Stationnement.
- Ville de Québec. (2024a, avril). Panneaux de signalisation - Stationnement - Panneaux de stationnement - Données Québec.
- Ville de Québec. (2024b, mai). Adoption Du Règlement Modifiant Le Règlement d'harmonisation Sur l'urbanisme et Les Règlements d'arrondissement Sur l'urbanisme Relativement Au Nombre Minimal de Cases de Stationnement Requis Pour Un Usage de La Classe Habitation, R.V.Q. 3303.
- Ville de Québec. (2024c, juin). Grille de spécifications du zonage - Grille de spécifications du zonage - Données Québec.
- Ville de Québec. (2024d, juin). Zonage municipal - Zones - Données Québec.
- Voulgaris, C. T., Taylor, B. D., Blumberg, E., Brown, A., et Ralph, K. (2017). Synergistic Neighborhood Relationships with Travel Behavior : An Analysis of Travel in 30,000 US Neighborhoods. *Journal of Transport and Land Use*, 10(1).
- Weinberger, R., Seaman, M., et Johnson, C. (2009). Residential Off-Street Parking Impacts on Car Ownership, Vehicle Miles Traveled, and Related Carbon Emissions : New York City Case Study. *Transportation Research Record*, 2118(1), 24-30. <https://doi.org/10.3141/2118-04>