

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

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
RÉSUMÉ	vi
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xi
 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
2.2.1 Hors-Rue	5
2.2.2 Sur-rue	6
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	8
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	11
2.8 Utilisation de la capacité existante	12

2.9	Stationnement et utilisation du territoire	13
2.10	Reconnaissance d'images	13
2.10.1	Algorithmes de détection	14
2.10.2	Algorithmes de segmentation	14
2.10.3	Algorithmes de segmentation d'instance	14
2.10.4	Bases de données disponibles	14
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE		15
3.1	Données	15
3.2	Illustration des données acquises	18
3.2.1	Illustration - Cas 1 : Coin Gomin / Marguerite-Bourgeoys / Laurier .	18
3.2.2	Illustration - Cas 2 : Coin de la Canardière - Desroches	20
3.3	Données de panneaux de stationnement	21
3.4	Règlementation de stationnement hors Rue	23
3.5	Données d'entraînement d'apprentissage machine	24
CHAPITRE 4 RÉSULTATS		25
CHAPITRE 5 CONCLUSION		26
5.1	Synthèse des travaux	26
5.2	Limitations de la solution proposée	26
5.3	Améliorations futures	26

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

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^{ième} 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:HighCost: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:QuantifiedParking:2018**). Cette offre de stationnement abondante et gratuite à l'utilisation constitue une subvention chiffrée aux alentours de 5000\$ par année-véhicule (**Litman:ComprehensiveParking: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 (**VilledeMontreal:PolitiqueStationnement: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:MethodologieAnalyse: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 ??, 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:MethodologieAnalyse:2014<empty citation> 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:MethodologieAnalyse:2014<empty citation>** 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:MethodologyParking:2015<empty citation>**.

1.3 Plan du mémoire

Le mémoire se divisera en 5 chapitres. Le chapitre ?? est une introduction qui présente le sujet, ses problématiques et la pertinence de l'étude. Le chapitre ?? 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 ?? portera sur les données disponibles et les méthodologies utilisées pour faire l'inventaire de l'ensemble des places de stationnement disponibles. Le chapitre ?? présentera l'inventaire complété pour le stationnement dans la capitale nationale. Le chapitre ?? 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:StationnementDans:2017 détaillent une typologie de stationnement pour le stationnement hors rue et sur rue pour la région métropolitaine de Montréal montrés aux figures ?? et ??

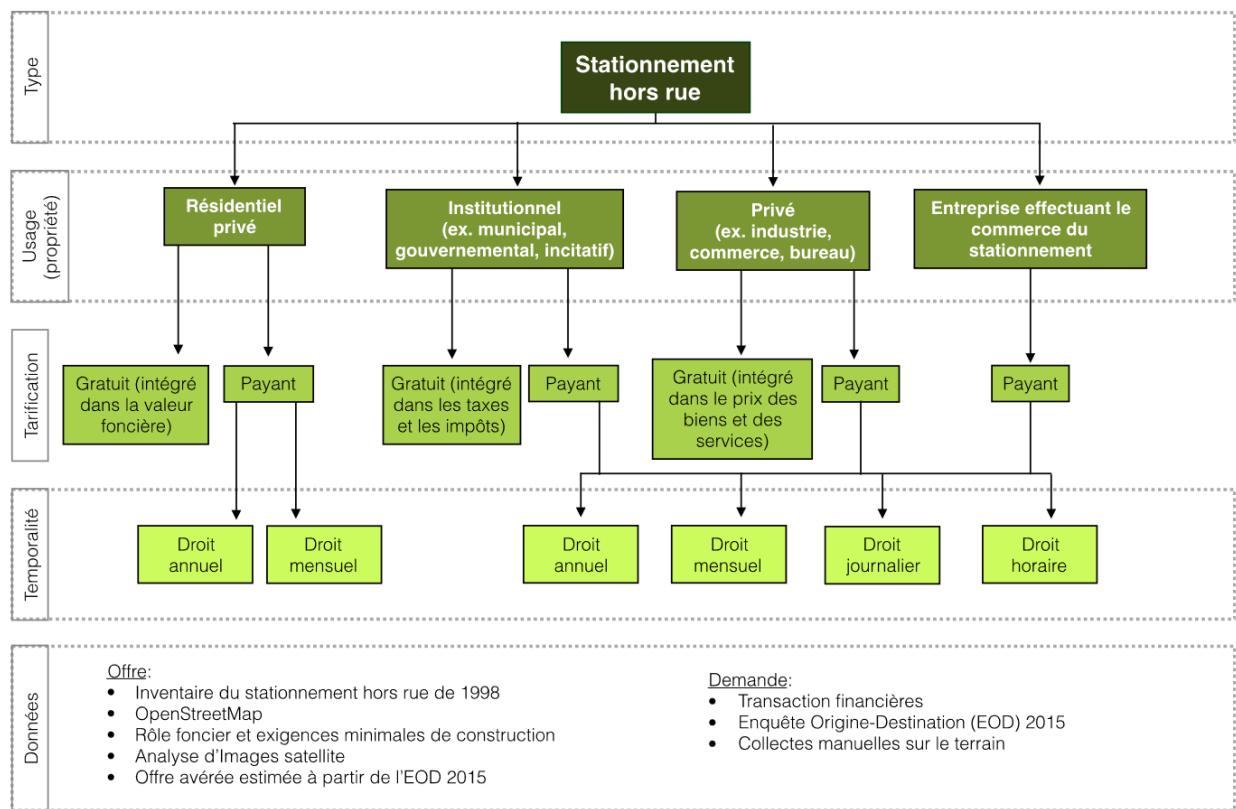


FIGURE 2.1 Typologie de stationnement hors rue. **vérifier droits auteurs** Source : **Morency:StationnementDans:2017**

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 (**ConsortiumCIMA+-DanielArb**)

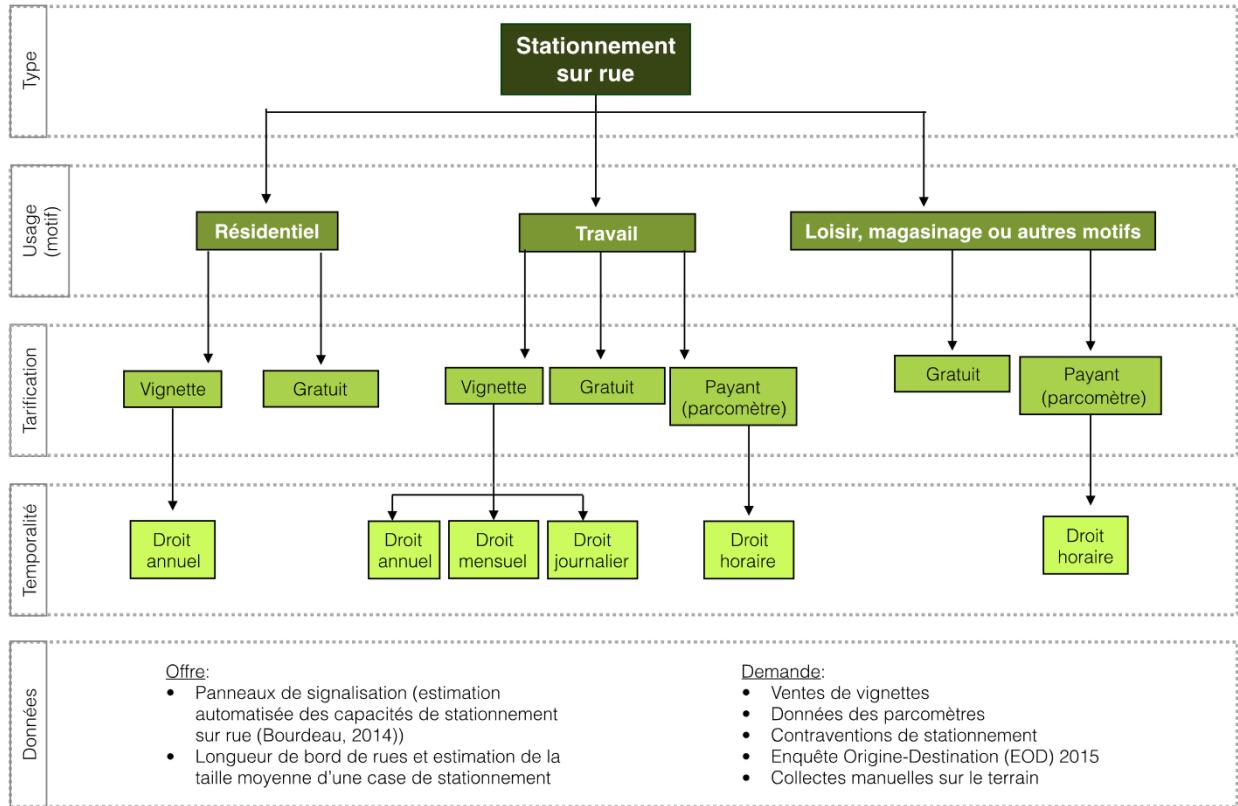


FIGURE 2.2 Typologie de stationnement sur rue. vérifier droits auteurs Source : Morency:StationnementDans:2017

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.

2.2.1 Hors-Rue

Chester :ParkingInfrastructure :2015 utilisent des données basées sur le rôle foncier, un modèle de croissance de la construction et des données de recensement croisées avec les minimums de stationnement issus des codes d'urbanisme pour inférer la capacité de stationnement de la région de Los Angeles depuis les années '50. 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:InventoryingSan:2022 estime la capacité de stationnement en utilisant une méthode similaire basée sur les codes d'urbanismes et les données foncières pour la région de San Francisco (Chester:InventoryingSan:2022) et Phoenix (Hoehne:ValleySundrenched:2019).

Scharnhorst:QuantifiedParking:2018<empty citation> 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.

Il est important de noter que ce type d'inventaire fait l'hypothèse que les promoteurs construisent selon la norme. **Stangl:ParkingLots:2019<empty citation>** indiquent que les promoteurs immobiliers ne respectent pas nécessairement cette hypothèse car leur but est de minimiser les risques d'invendus et leurs perceptions ne sont pas alignées avec l'utilisation réelle des stationnements. Ironiquement, les développeurs ont tendance à bâtir plus de stationnements dans des voisinages de typologie « Old Urban » (**Voulgaris:SynergisticNeighborhood:2017**) alors que ce sont précisément les quartiers où les gens ont une plus faible propension à conduire. **Stangl:ParkingLots:2019<empty citation>** comporte des entrevues avec des promoteurs 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.

2.2.2 Sur-rue

Bourdeau:MethodologieAnalyse:2014<empty citation> 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:InventoryingSan:2022<empty citation>** et **Scharnhorst:QuantifiedParking:2018<empty citation>**. 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 **OSM! (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.

2.3 Méthodes d'inventaire basées sur l'imagerie aérienne

Akbari:AnalyzingLand:2003<empty citation> utilisent des orthophotos en couleur 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. **Akbari:AnalyzingLand:2003** ne font pas de distinction entre la voirie et le stationnement sur rue.

Davis:EstimatingParking:2010 recensent un sous ensemble de codes postaux manuellement avant d'utiliser une régression pour estimer le stationnement sur l'ensemble d'un territoire. 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. Comme l'étude précédente, cette étude n'inclut que le stationnement hors rue.

L'augmentation de la capacité de calcul numérique et la démocratisation des méthodes d'apprentissage machine a mené **Hellekes:ParkingSpace: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'ortho-photos 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 de stationnement. **Henry:CitywideEstimation: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 sur 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:HighCost: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 mé-

canisme réglementaire est encore omniprésent au Québec puisque seuls les arrondissement de Côte des Neiges, du Sud-Ouest, du Plateau Mont-Royal et du Centre-Ville de Montréal **bien 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 (**VilledeQuebec:AdoptionReglement:2024**).

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 de ces données relativement difficile. La figure ?? montre les fusions successives ayant mené à l'actuelle ville de Québec :

2.5 Coûts de provision

Plusieurs coûts sont associés à la provision de stationnements, autant pour les individus, que pour les collectivités locales ou de 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:EffectsUrban:2014<empty citation> 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 bureaux entourées 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 stationnements, 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:ParkingInfrastructure:2015<empty citation> 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 périphérique 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

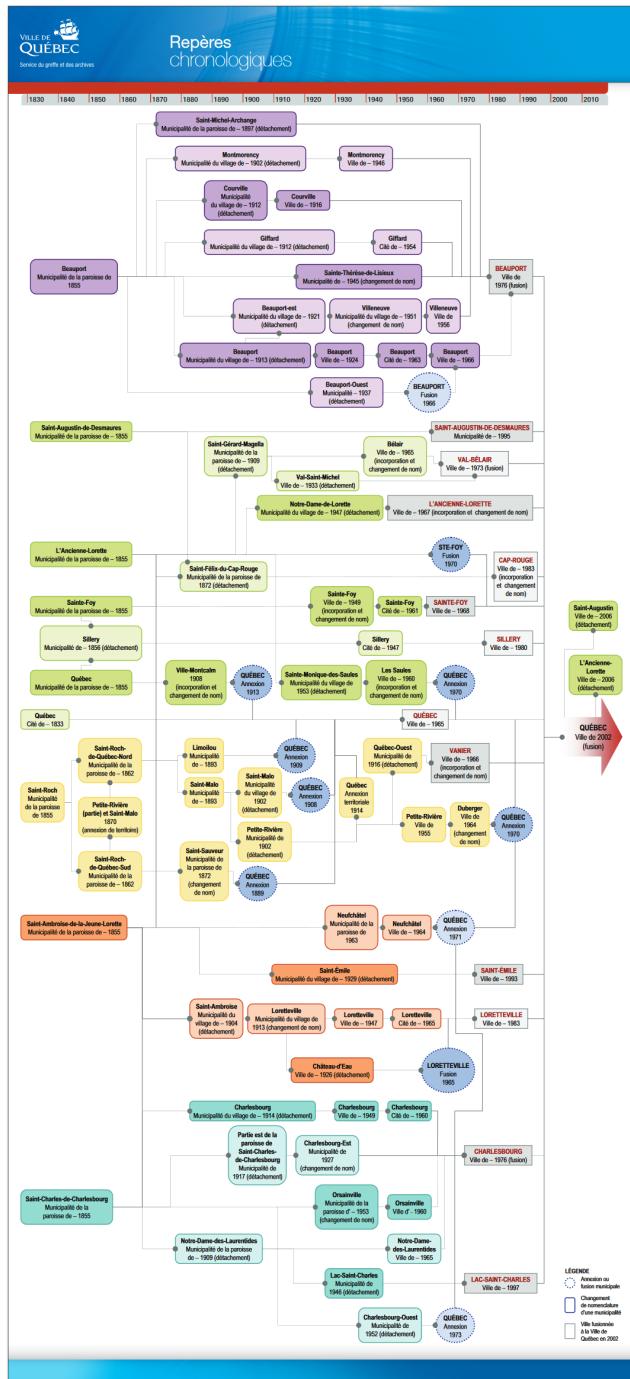


FIGURE 2.3 Diagramme montrant les fusions géopolitiques de la ville de Québec. Vérifier droits d'auteurs Source : VilledeQuebec:ReperesChronologique:

stationnement résidentielle.

Guo:DoesResidential:2013 créa 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:2018a 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:ResidentialOffStreet: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 **TC!** (**TC!**) des deux quartiers. Les auteurs estiment l'offre de stationnement au travers du registre **PLUTO! (PLUTO!)** pour les bâtiments de 4 logements et plus ainsi qu'un échantillonnage 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 stationnements 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 stationnements minimums actuellement 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 effritent 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 stationnements, la motorisation et le choix modal.

Deux études dans le contexte norvégien (**Christiansen:ParkingFacilities:2017** ; **Christiansen:Household**

créent des modèles associatifs à partir d'enquêtes origine destination nationales. **Christiansen:ParkingFac** 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 perçu 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'offres de service à proximité. Les auteurs indiquent cependant qu'il y a des risques d'autosélection et d'endogénéité avec leur étude, un problème récurrent avec les études reliées au stationnement (**Inci:ReviewEconomics:2015**). **Christiansen:HouseholdParking:2017<empty citation>** 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 regrettable d'un point de vue scientifique.

Dans le contexte chinois, **Yin:BuiltEnvironment:2018a<empty citation>** dressent des constats similaires à **Christiansen:HouseholdParking:2017<empty citation>** et **Christiansen:Park** 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 sociodémographiques, mais utilisent seulement des mesures agrégées de disponibilité totale de stationnement.

Currans:HouseholdsConstrained:2023<empty citation> 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:EffectsParking:2016<empty citation> observe la relation entre la provision de stationnements avec la part modale de l'automobile sous le prisme du critère de Bradford-

Hill pour inférer que la provision de stationnements 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:ReviewEconomics:2015<empty citation>**, 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 identifiée comme une condition nécessaire pour réduire les externalités reliées au ratissage, la congestion et les externalités liées au transport urbain de personnes (**Vickrey:StatementJoint:1994**). Les tentatives les plus intéressantes d'instaurer un marché variable 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:TheoryImplementation:2014<empty citation>** constatent que 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 une 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.

vanOmmeren:RealPrice:2011<empty citation> 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 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:ReviewEconomics:2015<empty citation> 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:2018Regional:2019<empty citation> a sondé les taux d'occupation des blocs-appartements 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 statistique pour valider la significativité de leurs 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:ParkingInfrastructure:2015<empty citation> 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 majorité de la croissance du parc de stationnement a eu lieu entre 1950 et 1980.

Davis:EstimatingParking:2010<empty citation> estiment que 4.97% de l'espace urbain est utilisé par le stationnement hors rue commerciale (sans compter les stationnements sur rue ou résidentiels). 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:ParkingInfrastructure:2015<empty citation>** 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 classe 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, les classifications se font typiquement pixel par pixel selon différentes classes. Les méthodes de segmentation d'instance sont un hybride des méthodes de détection et de segmentation. Dans ces problèmes, des instances de chaque type sont identifiées au moyen de boîtes englobantes puis un masque est généré pour le type pour illustrer l'objet. La figure ?? représente le résultat de différents processus d'apprentissages sur une même image :

Les processus varient aussi dans leur résultante. Tandis que les méthodes de segmentation d'image donnent un masque par pixel donnant un résultat en raster, les méthodes de détection peuvent donner un résultat vectoriel potentiellement plus facile à diviser.

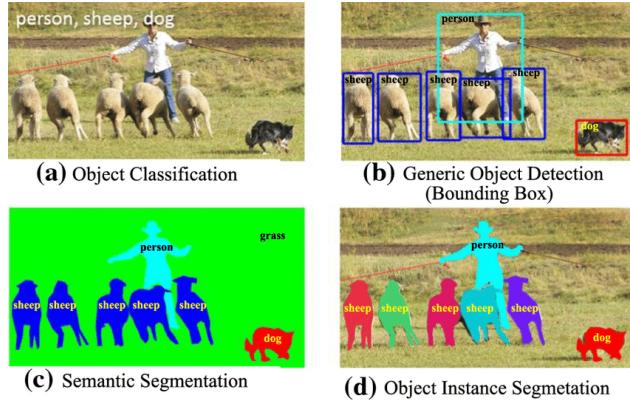


FIGURE 2.4 Résultat de différentes méthodes de vision par ordinateur pour une même image. **vérifier droits d'auteurs** Source : **Minaee:ImageSegmentation:2022**

2.10.1 Algorithmes de détection

2.10.2 Algorithmes de segmentation

2.10.3 Algorithmes de segmentation d'instance

La première est la segmentation sémantique qui consiste à séparer des pixels dans une image par classe. La deuxième est la segmentation d'instance. Cette dernière reconnaît des objets, le classifie et en extrait le contour. **He:MaskRCNN:2018<empty citation>** est l'article original sur la méthode qui a par la suite été adapté dans un contexte de reconnaissance SIG (**Peseck:MaskRCNN:2018**) ou pour la reconnaissance automatique de terrains sportifs pour réinjecter les polygones directement dans **OSM!** (**Remillard:JremillardImagestoosm:2024**).

2.10.4 Bases de données disponibles

Deux enjeux sont critiques au succès d'un projet d'apprentissage machine. La présence d'un modèle adapté à la tâche en cours et la présence d'un jeu de donnée annoté qui peut être utilisé pour ajuster les poids initiaux du modèle pour permettre de modifier les poids du modèle et permettre de l'appliquer à de grands ensembles de données. Le tableau suivant résumera les jeux de données actuellement disponibles pour la segmentation sémantique en milieu urbain :

Nom du jeu de données	Origine	Nombres de classes	Classes pertinentes
-----------------------	---------	--------------------	---------------------

TABLEAU 2.1 Jeux de données annotés de segmentation sémantique en milieu urbain

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 ?? 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	Polylignes	Bords de voiries pour circulation automobile	Ville de Québec / Geo-index	12 juin 2023
vq_stationnement_2021	Polylignes	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 / Données Québec	16 avril 2024
vdq_intersection_voie_publique	Lignes	intersections avec les dispositifs de contrôle	Ville de Québec / Données Québec	8 mai 2024
vdq_quartiers	Polygones	Séparation de la ville en quartiers	Ville de Québec / Données Québec	8 mai 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 polylignes	Arrêts de bus, parcours des lignes et bornes vélo-partage	Réseau de transport de la capitale	31 mai 2023
Année de construction des chaussées	Polylignes	Année de construction des rues	Ville de Québec / Géoindex	28 mai 2024
highway	Polylignes	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.)

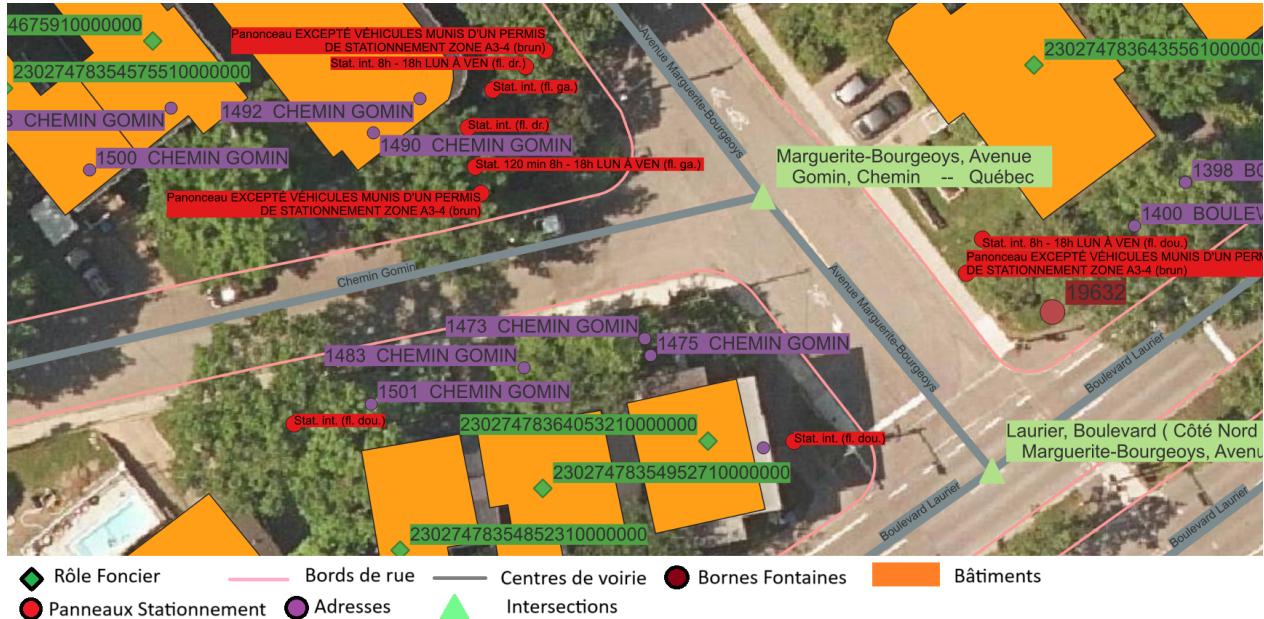
TABLEAU 3.2 Champs de la géobase de panneaux de stationnement de la ville de Québec
(VilledeQuebec:PanneauxSignalisation:2024)

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 ?? et ?? 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 ?? et ?? 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.

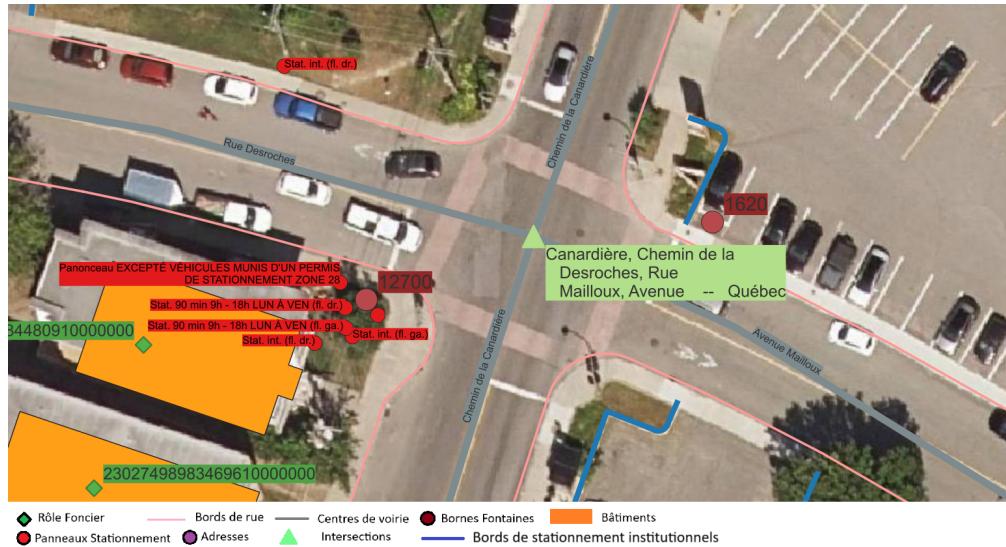


FIGURE 3.2 Données disponibles intersection Laurier

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:MethodologieAnalyse:2014<empty citation>** et **Morency:DeveloppementMise:2022<empty citation>**. Pour être plus explicite, les champs suivants sont assignés à chaque panneau :

Champs	Type	Description	Valeur possibles
DUREE _MAX_ MINUTES	Entier	Durée maximale de stationnement	0-120
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 **VilledeQuebec:ZonageMunicipal:2024<empty citation>** et l'assignation de la zone est donnée dans **VilledeQuebec:GrilleSpecifications:2024<empty citation>**. La carte à la figure ?? montre les unités de voisinage pour la ville de Québec catégorisé selon la définition ci-haut :

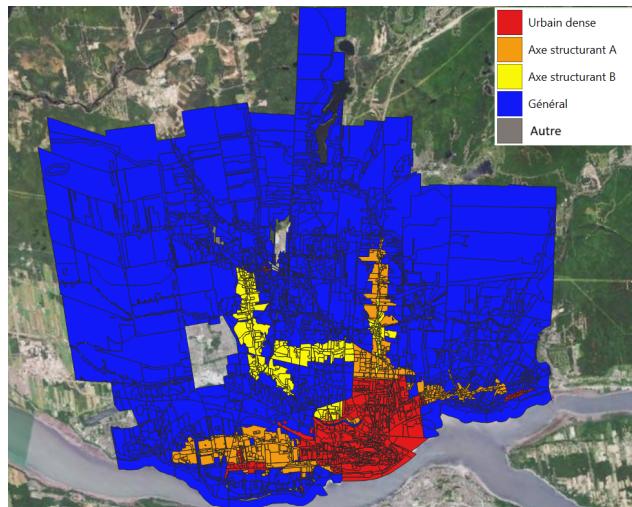


FIGURE 3.3 Types d'unités de voisinage

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.