HEC MONTRÉAL

Impact de la mise en service d'une nouvelle station de métro sur la gentrification des quartiers

Par
Antoine Audet-Fortin

Sciences de la gestion
(Option économie appliquée)

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences en gestion
(M. Sc.)

Amine Ouazad
HEC Montréal
Directeur de recherche

Avril 2020
©Antoine Audet-Fortin

Résumé

Cette recherche porte sur l'estimation de l'impact de la mise en service d'une nouvelle station de métro sur les variables socio-économiques et la valeur des logements des quartiers avoisinants. En utilisant les données publiques des agences de transports, nous sommes en mesure d'identifier les coordonnées des stations de métro pour 27 régions métropolitaines aux États-Unis. Leur emplacement est ensuite superposé avec les zones de recensements américains au niveau des block group selon les divisions de 2014. Nous estimons ensuite la distance avec la plus proche station avec le centroïde de chaque zone entre 2009 et 2018. Cela nous permet d'identifier les block group pour lesquels une nouvelle station plus proche est mise en service. Nos données montrent une augmentation de la concentration des caractéristiques décrivant une classe plus aisée. Principalement, nous observons une croissance de la proportion d'individus avec un diplôme universitaire, une augmentation du salaire médian, ainsi qu'une croissance de la valeur des maisons et du prix de location des logements. Dans la deuxième partie de la recherche, nous montrons qu'il est possible de financer en partie ces investissements en infrastructure en prélevant une partie de la valeur qu'ils génèrent sur la croissance de la valeur des maisons.

Table des matières

1 Introduction **8**

2 Revue de littérature **13**

2.1 *Valeur des logements* 13

2.2 *Impact socio-économique* 14

2.3 *Financement* 16

2.4 *Autres* 17

3 Données **19**

3.1 *Recensement* 19

3.2 *Stations de métro* 21

3.3 *Distance station-Block group* 22

4 Approche Économétrique **24**

5 Résultats **27**

5.1 *Densité et âge* 27

5.2 *Éducation* 28

5.3 *Prix des logements* 29

5.4 *Revenue médian* 30

5.5 *Emploi* 31

5.6 *Transport public* 31

5.7 *Limites* 32

5.7.1 *Tendance préouverture* 32

5.7.2 *Tendance de long terme* 33

5.7.3 *Auto sélection* 34

6 Gentrification **36**

6.1 *Valorisation de l'accessibilité au transport sur rail* 36

6.2 *Anticipation de la croissance des prix* 38

6.3 *Déplacement des populations* 41

6.3.1 *Distribution de l'âge* 42

6.3.2 *Emploi et éducation* 43

6.3.3 *Croissance du revenu des ménages* 46

6.4 *Étude de cas - La Silver Line à Washington* 47

7 *Captation de la valeur foncière* **51**

7.1 *Limites de la CVF* 54

7.1.1 *Stock de capital* 54

7.1.2 *Tax Pass-Through* 55

7.1.3 *Inélasticité de l'offre de logement* 56

8 Conclusion **58**

9 Bibliographies **60**

10 Annexe - Table **63**

Table des figures

1 Exemple de groupes de traitement et de contrôle 25

2 Changement estimé dans la proportion d'individu par tranche d'âge dans une rayon de 1 kilomètre 28

3 Changement estimé dans la proportion d'individus par tranche de salaire dans un rayon de 1 kilomètre 30

4 Évolution de l'utilisation du transport public pour l'ensemble des régions métropolitaines incluses dans l'échantillon entre 1980 à 2019 37

5 Évolution des caractéristiques dans la région métropolitaine de Washington entre 2009 et 2018 48

Liste des tableaux

1 Statistique descriptive des groupes de contrôle et traitement 20

2 Estimation du changement dans le taux d'emploi 31

3 Scénario de niveau de taxe pour financer les projets 53

4 Changement dans la proportion des groupes d'âge 64

5 Croissance de la population par niveau d'éducation 65

6 Estimation du changement dans le prix médian des logements et le revenu médian 66

7 Changement dans la proportion d'utilisation des modes de transport 67

8 Évolution du groupe traitement et contrôle pour Washington entre 2013 et 2018 68

9 Coût des projets d'expansion (en milliard de $US) 68

1 Introduction

La croissance accentuée de la population urbaine, observée depuis plusieurs années, génère un intérêt de plus en plus grand pour les enjeux liés au transport urbain. En 1990, 40 % de la population mondiale vivait en milieux urbains. En 2010, cette proportion avait dépassé les 50 %, et il est prévu que celle-ci devrait atteindre environ 70 % en 2050 (Organisation mondiale de la santé, 2010). Cette concentration de personnes dans des espaces géographiques restreints génère des pressions sur les différents systèmes de transport. Dans ce contexte, plusieurs villes optent pour un accroissement de leur système de transports publics afin de répondre à une partie de la demande croissante. C'est, entre autres, le cas de New York, qui a investi 4.5 milliards de dollars pour ajouter 3 stations supplémentaires, qui sont entrées en service en 2017. Montréal fait aussi le choix du transport collectif, avec la constructio du Réseau Express Métropolitain, un projet de 67 kilomètres, pour un cout initialement estimé à 6.5 milliards de dollars (Réseau express métropolitain, 2021). La ville souhaite aussi accroître son réseau avec un projet d'expansion de 5.8 kilomètres pour un montant estimé à 3.9 milliards de dollars prévus pour 2026 (STM 2021).

Les impacts des investissements en transport vont au-delà de l'efficacité des déplacements. Plusieurs recherches pointent vers des changements socio-économiques, à la suite de l'ouverture de nouvelles stations de métro, dans les quartiers avoisinants. L'effet le plus étudié par la littérature économique est la croissance du prix de l'immobilier. Plus récemment, Gupta et coll. (2020) se sont penchés sur la construction de la ligne le long de la Second Avenue à New York. Ils ont trouvé des évidences d'une croissance de 10 % de la valeur des propriétés. Gibbons et Machin (2005), Brillings (2011), Browes et coll. (2007) trouvent une croissance similaire pour différents projets d'expansion. Le marché de l'emploi a aussi fait l'objet d'étude ces dernières années. Pang (2018) se concentre sur les individus peu qualifiés et trouve un impact positif sur le taux d'emploi au niveau des villes. Tyndall (2018) ne trouve pas d'effet sur l'emploi dans les quartiers entourant les nouvelles stations, mais trouve des indices de

croissance au niveau des villes. Des chercheurs se sont attardés plus précisément à la gentrification, notamment Tyndall (2018) et Kanh (2007). C'est deux auteurs identifient plusieurs changements caractéristiques de ce phénomène, comme une croissance des salaires, du niveau d'éducation et de la proportion de personnes blanches dans les quartiers avoisinants.

Le nombre de villes avec un réseau de métro, ainsi que le nombre de stations en opération est en croissance à travers la planète (Gonzalez-Navarro et Turner, 2018). L'augmentation de la superficie servie par des métros n'a pas eu le même impact sur les différentes populations. Les autorités responsables de la construction des métros orientent généralement le choix de l'emplacement de façon à prioriser l'accès aux centres urbains, ce qui n'a pas favorisé les individus moins qualifiés, dont leur emploi se trouve souvent en bordure des villes (Sanchez, 1999). Plusieurs indices montrent que les impacts positifs sur la valorisation des quartiers à la suite de la mise en service d'une nouvelle station de métro amènent une partie de la population à se relocaliser en raison de la hausse du coût de la vie, comme Tyndall (2018) et Kahn (2007).

Comprendre les impacts économiques et sociaux liés aux investissements en transport est important pour favoriser une plus grande inclusion des différentes populations qui en bénéficient. L'augmentation des données disponibles, ainsi que l'amélioration des méthodes de système d'information géographique (GIS) dans les deux dernières décennies ont permis une augmentation importante des connaissances de ces impacts, en permettant de réduire le niveau d'agrégation de l'information sans diminuer la quantité de données. Grâce à cela, les connaissances dans le domaine du transport se sont accrues. Plusieurs chercheurs ont su exploiter ces avancements en augmentant considérablement la taille de leurs échantillons. Un exemple récent de recherche est l'étude de Gonzalez-Navarro et Turner (2018), qui ont localisé les stations de métro pour plus de 138 villes à travers le monde en 2010. Ils utilisent des données satellitaires qui suivent l'augmentation de l'intensité lumineuse sur une période de 20 ans, afin d'estimer l'impact des stations de métro sur la densité de la population autour

de celle-ci et au niveau des villes. Gupta et coll. (2020) estiment l'impact de la partie de la valeur généré par l'expansion de la ligne Q à New York en utilisant le prix de vente des logements autour des nouvelles stations et en définissant des groupes de traitement et de contrôle en fonction de la distance avec les stations. Leur modèle tient aussi compte des gains dans le temps de trajet, lequel est estimé à l'aide du positionnement GPS d'un échantillon d'environ 50 millions d'Américains. D'autres études récentes utilisent abondement les techniques de GIS, dont Tyndall (2018) et Gendron-Carrier et coll. (2018).

Malgré une amélioration certaine de l'accès aux données, il demeure qu'au meilleur de nos connaissances les recherches sur le sujet font face à l'un ou l'autre des deux problèmes suivants : un manque de possibilité de généraliser les résultats, ou une faible quantité de variables distinctes pour évaluer les impacts socio-économiques. À titre d'exemple, la Second Avenue à New York représente un quartier d'affaires, avec un niveau de vie élevé des habitants qui y résident. Ainsi Gupta et coll. (2020) posent la question de la généralisation des résultats à des quartiers plus populaires. Gonzalez-Navarro et Turner (2018) de leur côté offrent un échantillon large et réparti dans plusieurs pays ce qui réduit la précision des données sur les caractéristiques socio-économiques pour des niveaux géographiques moins agrégés que celui des villes.

Ce mémoire cherche à s'inscrire dans cette continuité, tout en tentant de trouver un équilibre entre la généralisation des données et un portrait précis des quartiers. En utilisant les données General Transit Feed Specification (GTFS) mises à la disposition par les agences de transports, nous avons construit un échantillon de réseau de transport réparti dans 28 villes américaines, ce qui nous a permis d'identifier 92 ouvertures de stations de métro entre 2011 et 2014. Avec cet échantillon nous espérons améliorer la compréhension des impacts des stations de métro sur les caractéristiques socio-économiques des quartiers, ainsi qu'à fournir une piste de solution aux problèmes liés au financement de ces projets d'infrastructure. Plus précisément, nous cherchons à vérifier deux hypothèses :

1. La construction d'une nouvelle station de métro entraîne une gentrification des quartiers avoisinants.
2. Il est possible de financer, en totalité ou en partie, la construction d'une station de métro à l'aide de la captation de la valeur foncière (CVF).

L'hypothèse de gentrification peut être complexe à étudier, car elle peut prendre plusieurs formes. Pour le nécessité de ce mémoire, la définition suivante semble adéquate : la gentrification est un accroissement de la valorisation des quartiers populaires, souvent générés par une augmentation des investissements en infrastructures, qui amènent des changements socio-économiques importants, entre autres, l'arrivée d'une population plus aisée financièrement et souvent plus éduqué. Étant donnée cette définition, nos résultats devraient pointer vers certains changements observables, qui seraient caractéristiques d'une augmentation de la valorisation des quartiers. La littérature sur la croissance de la valeur des logements est abondante et nos données vont dans ce sens. Par contre, la valeur des logements n'est pas suffisante pour conclure à la gentrification. Comme défini, le phénomène est accompagné de changements chez les populations d'un quartier qui montre un déplacement des individus faisant partie de la classe plus populaire du quartier. Cela peut s'observer, entre autres, par une augmentation du niveau d'éducation et une croissance du salaire médian. Nos résultats montrent plusieurs évidences de ces changements.

Le financement de projet d'infrastructure comme un métro peut être un frein important. Un exemple parlant est celui de la construction de ligne Silver à Washington qui aura pris plus de 30 ans à débuter, principalement dû à des raisons liées à son financement. Une option envisageable, qui n'est pas nouvelle, mais prend de plus en plus de place dans la littérature, notamment grâce à l'accessibilité croissante des données (et leur précision) est la CVF. Cet outil de financement consiste à substituer la croissance de la valeur du capital à son propriétaire qui serait générée par un investissement public. Pour y parvenir, il est essentiel de bien quantifier la croissance de la valeur, d'où l'intérêt d'un accès croissant à des données

et de perfectionner les méthodes d'estimation de la croissance de la valeur des logements. La CVF peut prendre plusieurs formes, mais revient essentiellement à taxer la part générée par l'investissement public. Récemment, Gupta et coll. (2020) montrent, qu'en théorie, il aurait été possible de financer la construction de la ligne Q à New York en taxant une partie de la croissance de la valeur immobilière des propriétés résidentielles et commerciales autour des trois nouvelles stations. Nous nous inspirons de leur recherche pour étandre la CVF à l'ensemble des nouvelles stations de notre échantillon. Ce mémoire cherche à étendre cette méthode à un ensemble de quartiers, dont les caractéristiques socio-économiques et la valeur immobilière aggrégée varient fortement. Nos données semblent montrer qu'il serait possible de financer en partie les coûts des expansions de métro en taxant l'augmentation de la valeur des logements dans un rayon de trois kilomètres autour des nouvelles stations.

Le mémoire se divisera comme suit. Dans la section suivante, nous présenterons une revue de littérature sur l'état actuel des connaissances sur l'impact des métros. La section 3 présentera l'approche économétrique utilisée pour estimer les effets socio-économiques. Dans la section 4, nous présenterons les principaux résultats obtenus par le modèle économétrique, ainsi que certaines limites liées à nos données et méthodes statistiques utilisées. Finalement, les sections 6 et 7 présenteront une analyse des hypothèses de gentrification et de la CVF en fonction des résultats obtenus dans les sections précédentes.

2 Revue de littérature

2.1 *Valeur des logements*

La littérature en lien avec la mise en service de nouvelles stations de transport sur rail porte principalement sur l'étude des effets sur les marchés immobiliers. L'impact sur le prix des logements est un aspect important dans des projets d'investissement puisqu'il informe sur la valorisation que les individus leur accordent. Dans cette optique, plusieurs articles cherchent à évaluer la valeur de la prime sur le prix des logements. Les raisons pour lesquelles les prix peuvent être affectés sont multiples. Bowes et coll. (2007) ont identifié quatre aspects dans la littérature existante qui ont une influence majeure sur le marché immobilier : la diminution du temps de transport, le développement commercial dans les alentours, l'augmentation des crimes et du trafic.

L'impact estimé sur le prix des logements varie d'une étude à l'autre, mais l'effet demeure bien documenté. Gibbons et Machin (2005) utilisent l'extension du métro de Londres, entré en service à la fin de l'année 1999, pour évaluer la croissance de la valeur des propriétés en fonction de la distance avec la station la plus proche. En contrôlant pour certaines caractéristiques observables des quartiers et des logements, ils constatent une croissance de 9.3% des prix sur deux ans. Billings (2011) utilise comme groupe contrôle l'ensemble des corridors considérés pour la construction du train léger sur rail de Charlotte, entré en service en 2007 comme groupe de contrôle. Il trouve une croissance de 4% de la valeur des maisons unifamiliales et de 11.3% pour des condos. Chang-Hee et coll. (2002) étudient les impacts de la construction de la ligne 5 à Séoul sur la valeur des propriétés. Ils trouvent des impacts significatifs positifs uniquement pour les périodes avant l'ouverture. Ils concluent que cela est le résultat d'effets anticipatif. Gupta et coll. (2020) analyse l'impact sur le prix des logements des nouvelles stations de la ligne Q le long de la Second Avenue à New York et identifie une croissance moyenne de 10%. Fesselmeyer et Liu (2018) se penchent sur les effets

de réseau. Ils examinent l'impact du Mass Rapid Transit à Singapore sur les appartements déjà connectés au réseau à moins de 0.5 kilomètre avant sa construction, et trouvent une augmentation de 1.8% de plus comparativement aux logements plus éloignés.

La composition physique des quartiers peut influencer la croissance de la valeur des logements. Saiz (2014) étudie l'impact de certaines de ces contraintes, comme le niveau de pente des terrains et la présence d'eau, sur l'offre de logement. Il trouve que les régions dont la composition physique des quartiers limite la construction de logement ont une élasticité de l'offre de logement plus faible ce qui engendre des pressions à la hausse sur les prix.

2.2 *Impact socio-économique*

Le changement observé sur le prix des maisons est un impact important, mais les effets peuvent être plus diversifiés. Plusieurs chercheurs se sont penchés sur les changements socio-économiques observés autour des stations. Pang et coll. (2017) étudient l'impact de l'ouverture de nouvelles stations sur la participation des travailleurs peu qualifiés qui ne sont pas propriétaires d'un véhicule. Ils concentrent leur analyse au niveau des villes et trouvent qu'une augmentation de 10% de la taille du métro entraîne une croissance de 3 points de pourcentage de leur participation au marché du travail. Ils observent aussi une croissance du salaire horaire. Tyndall (2018) étudie les impacts sur l'emploi des systèmes léger sur rail pour quatre régions métropolitaines entre 2000 et 2013. Il trouve des indices d'une croissance du taux d'emploi au niveau local. Il attribue cet effet à l'auto sélection des individus qui s'installent autour des nouvelles stations, qui serait influencée par la croissance du prix des loyers, puisqu'il n'observe aucune croissance de l'emploi agrégé au niveau des régions métropolitaines.

Sanchez (1999) étudie plus en profondeur l'hypothèse de l'inadéquation spatiale (spatial mismatch hypothesis) et conclut que le choix de l'emplacement des stations de métro

a été défavorable pour les populations pauvres et moins éduquées, puisque les systèmes de transport sont généralement construits de façon à desservir les centres urbains, plutôt que la périphérie des villes, où se situe la majorité des emplois peu qualifiés. De son côté Yi (2006) trouve que l'accessibilité aux emplois par transport public à des impacts significatifs sur le niveau d'emploi. Il trouve aussi que l'accessibilité au transport public à des avantages plus grande sur l'emploi que l'accès à un véhicule privé.

Haddad et coll. (2015) étudient l'impact sur le produit régional brut (PRB) du métro de São Paulo. Ils estiment des impacts qui vont au-delà de la ville. Selon leurs estimations le métro est responsable de 1.7% du PRB pour l'ensemble de la région métropolitaine de São Paulo et 0.6 du produit intérieur brut du pays.

La hausse de la valorisation des quartiers entraîne souvent des changements dans les individus qui résident dans ces quartiers. Kanh (2007) étudie l'impact de nouvelle mise en service de transit sur rail dans 14 régions métropolitaines aux États-Unis, pour identifier des indices de gentrification. Son article se concentre principalement sur deux indicateurs – le prix des maisons et la proportion de personnes avec un diplôme d'étude collégiale par tract de recensement. De plus, il fait une distinction entre les stations situées de façon qu'ils soient plus facilement accessibles à la marche et par vélo, comparativement à celles orientées vers un accès par auto. Il constate une forte hétérogénéité entre les différentes villes, ainsi qu'entre les deux différents types de stations. Il observe aussi une plus forte gentrification autour des stations accessibles à la marche. D'autres auteurs comme Tyndall (2018) et Baum-Snow et Kahn (2005) observent aussi des changements démographiques qui suggèrent une gentrification des quartiers autour des nouvelles stations de métro.

Stroebel et Vavra (2019) étudient l'inflation en fonction de la croissance de la valeur des maisons et constatent que les quartiers dans lesquels on observe une croissance plus élevée de la valeur des maisons sont aussi ceux qui subissent une plus forte croissance des prix au niveau des commerces locaux. Ils estiment aussi que l'inflation locale observée est

plus forte dans les quartiers ou la proportion de propriétaires est plus élevée. En contrôlant pour certains changements démographiques associés à la gentrification, ils concluent que la croissance supérieure des prix résulte d'un changement dans le comportement des consommateurs, plutôt que l'arrivée d'individus qui sont moins sensibles aux variations dans les prix.

2.3 *Financement*

Même si le financement des projets d'infrastructure public a beaucoup été étudié, celui du transport public en particulier n'a pas été autant abordé. Récemment, Gupta et coll. (2020) proposent de financer ces projets en taxant la croissance de la valeur qu'ils génèrent sur la valeur de logement. En contrôlant pour les caractéristiques des logements, ils parviennent à estimer que la méthode de taxation en vigueur à New York a permis à la ville de récupérer 30% de la croissance de la valeur du marché immobilier généré par la construction de la ligne Q qu'ils estiment à 7 milliards de dollars. Ils suggèrent qu'en modulant les taxes en fonction de l'appréciation des logements selon leur caractéristique, le gouvernement local pourrait accaparer une plus grande partie de la valeur créée. Tsivanisdis (2019) examine le financement du TransMilenion un bus à haut niveau de service à Bogota. Il conclut qu'une croissance de 30% du nombre de logements dans un rayon de 500 mètres autour des stations générerait des revenus pour le gouvernement équivalent à 9% du coût de construction.

Lutz (2008) estime l'impact de la modification du niveau de taxe sur le revenu qu'elles génèrent et trouve une élasticité moyenne pour les gouvernements locaux aux États-Unis de 0.4, soit une valeur proche de celle de Gupta et coll. (2018). Fesselmeyer et Liu (2018) ont estimé que les impacts sur la croissance de la valeur des logements ne se limitent pas aux alentours des nouvelles stations et que cette croissance de valeur dans un rayon de

0.5 kilomètre des stations préexistantes représente 9% du coût total de construction.

2.4 *Autres*

Les effets sur l'utilisation du transport collectif et de ses impacts sur la congestion sont mitigés dans la littérature. Baum-Snow et Kahn (2005) étudient l'impact d'une nouvelle station de métro sur l'utilisation du transport collectif dans les quartiers autour de ces stations. Ils trouvent une faible croissance de la proportion d'individus qui utilisent le transport collectif pour aller au travail. De plus, ils estiment une croissance significative de la proportion d'usagers du transport collectif. Toutefois, la taille de ce changement coïncide avec la diminution de la proportion d'usagers de l'autobus. Ils en concluent que la mise en service d'une nouvelle station a pour effet de déplacer une partie des usagers déjà existants vers le métro, plutôt qu'une hausse de la demande des services de transport collectif.

Anderson (2013) se concentre sur les impacts du transport collectif sur la congestion. Il utilise la grève imprévue des travailleurs dans le transport collectif qui est survenue en 2003 à Los Angeles pour estimer la croissance du trafic. Il trouve une augmentation du temps de déplacement moyen de 43%. Ses résultats sont supérieurs à ceux estimés dans les études antérieures. Duranton et Turner cherchent à estimer la distance parcourue par un véhicule pour une période donnée (VMT – véhicule miles travaled) sur une autoroute et ils ne trouvent aucun effet significatif généré par une augmentation de l'offre de service de transport collectif et concluent que l'offre de transport public n'a pas d'impact sur le niveau de congestion. Winston et Langer (2006) cherchent aussi à estimer la VMT. Ils trouvent que les systèmes de transport sur rail réduisent la congestion, mais que les lignes d'autobus augmentent la congestion et que l'effet moyen sur la congestion est négatif. Gonzalez-Navarro et Turner (2018) étudient 638 villes à travers la planète, dont 138 qui contiennent un métro. De leurs côtés, ils observent qu'une croissance de 10% de la taille des métros entraîne une

augmentation de 6% du nombre d'utilisateurs. Mais ils n'estiment aucun effet significatif sur l'utilisation des autobus.

Geandron-Carrier et coll. (2018) étudient les impacts de l'ouverture d'une nouvelle station de métro sur la concentration de particule dans l'aire. Leur échantillon comprend 104 ouvertures de stations entre 2000 et 2014. Ils observent une diminution de 4% de la concentration dans un rayon de 10 kilomètres autour du centre des villes, 48 mois après la mise en service de la station. Chen et Whalley (2012) cherche aussi à estimer l'effet sur la population. Leur étude se concentre autour d'un seul événement, l'expansion du métro de Taipei en Taïwan. Ils estiment une diminution du monoxyde de carbone entre 5% et 15% lors de la mise en service.

Gonzalez-Navarro et Turner (2018) se concentrent principalement sur les effets de l'expansion des métros sur la configuration spatiale des populations au niveau des villes. En utilisant la concentration de lumières durant la nuit, ils estiment le niveau de concentration de l'activité économique en fonction de l'intensité lumineuse. Ils identifient plusieurs effets importants. Ils trouvent que l'expansion des métros n'a aucun effet économique significatif sur la croissance de la population urbaine. Ils confirment aussi les résultats de Gibbons et Machin (2005), ainsi que Billings (2011), qui estiment que la concentration d'activée économique, d'une part se décentralise avec la présence d'un métro dans une ville, mais qu'elle se concentre principalement autour des stations de métro.

3 Données

Pour analyser l'impact des nouvelles stations de métro sur les populations des quartiers avoisinants, nous avons utilisé les données de plusieurs villes américaines. Nous utilisons deux sources de données principales : l'évolution des populations évaluée à partir des recensements américains et la géolocalisation des stations faite principalement à partir de données GTFS.

3.1 *Recensement*

Les données sur la population sont construites à l'aide des recensements américains. Les données sont récoltées par le Census Bureau et sont disponibles pour l'ensemble des États-Unis au niveau des block group pour la période de 2009 à 2018. Nous utilisons les données comptabilisées sur cinq ans. Une partie des block group représentant un cinquième est estimée chaque année. L'année du recensement est constituée de l'année en question et des quatre années antérieures, ce qui permet d'offrir un portrait statistique annuel sous forme de moyenne mobile. Un block group est une entité statistique qui comprend entre 600 et 3000 habitants. Il s'agit de la plus petite entité géographique pour laquelle les recensements sur cinq ans sont publiés. Le découpage des block group est sujet à des modifications à travers le temps. Puisque notre intérêt est de suivre l'évolution temporelle des variables des block group, nous devons pouvoir suivre chacun d'entre eux sur l'ensemble de la période observée. Nous avons identifié les centroïdes pour chaque année. Ensuite, nous les avons joints à leur plus proche voisin selon les délimitations du recensement de 2014. Cela nous permet d'avoir une décennie de données continues.

Afin de limiter notre population de contrôle, nous sélectionnons uniquement les régions métropolitaines contenant un métro. Pour cela, nous utilisons les régions métropolitaines

du recensement de 2010. En le superposant avec celui des block group de 2014, nous identifions à quelle région métropolitaine appartient chacun des block group. Ceux qui n'appartiennent à aucune sont éliminé de notre échantillon, tout comme ceux dont la région métropolitaine ne contient aucune station de métro. Notre échantillon comprend 68 764 block group réparties dans 27 régions métropolitaines.

Table 1 – Statistique descriptive des groupes de contrôle et traitement

	Traitement		Controle		
	Moyenne (1)	SD (2)	Moyenne (3)	SD (4)	Δ Moyenne (5)
Population	1323.662	625.837	1627.576	1207.988	-303.914
Prop. diplômées univ.	0.684	0.204	0.654	0.199	0.03
log(Prix médian maison)	12.27	0.642	12.385	0.732	-0.115
log(Prix médian loyer)	6.695	0.4	6.843	0.457	-0.148
log(revenu médian ménage)	10.592	0.59	11.067	0.526	-0.475
Prop. usagers métro	0.011	0.029	0.005	0.022	0.006
Prop. usagers bus	0.011	0.029	0.005	0.022	0.006
Prop. usagers voiture	0.769	0.168	0.867	0.115	-0.098
Prop 25 a 64 ans	0.531	0.13	0.539	0.086	-0.008
Taux d'emploie	0.601	0.131	0.603	0.12	-0.002
Nombre de tract	323		68441		

Note : Le groupe de traitement est pour un rayon de un kilomètre. Il s'agit du nombre de tracts distincts. Les colonnes (1) et (3) présentent les moyennes. Les colonnes (2) et (4) présentent les écarts-types. La colonne (5) présente la différence entre le groupe de traitement et le groupe de contrôle

La moyenne et l'écart-type des principales variables utilisées dans notre analyse se trouvent dans la table 1. Les colonnes (1) et (2) présentent les valeurs pour le groupe de traitement, les colonnes (3) et (4) présentent les valeurs pour le groupe de contrôle, et la colonne (5) présente la différence de moyenne entre les deux groupes. Les variables du prix médian des maisons, du prix médian des loyers et du revenu médian des ménages sont converties en dollars américains de 2014.

3.2 *Stations de métro*

Afin d'identifier les villes qui possèdent un métro, ainsi que les lignes à l'intérieur de ces réseaux qui sont considérés comme tels, nous nous inspirons de la définition de Gonzalez-Navarro et Turner (2018). Il s'agit d'un système sur rail électrifié qui est complètement (ou presque entièrement) isolé de l'interaction avec les autres types de transport (automobile, autobus, vélo...). Comme eux, nous choisissons de ne pas inclure les trains interrégionaux et les trains de banlieue. Les systèmes sur rail retenu doivent principalement servir à faciliter le transport au sein de la ville. Des exemples généraux sont le métro de New York, Washington et Saint-Louis. À défaut d'une définition précise pour un métro, et des particularités qui peuvent être propres au système de transport de certaines villes, certains choix peuvent être subjectifs. Étant donnée la quantité finie de métros, nous devons faire un arbitrage entre une définition stricte et la taille de notre échantillon.

Avec cette définition, nous avons sélectionné les systèmes sur rail des villes qui concordent. Ensuite, à l'aide des fichiers GTFS, nous avons identifié la position géographique (longitude, latitude) pour chacune des stations sélectionnées. Nous avons identifié la date de mise en service des stations entre 2009 et 2018. Cela nous a permis de dresser un plan de métro précis pour chacune des années.

La sélection des métros se fait à l'aide de documentation sur Internet. La principale source est `http://www.urbanrail.net/`. Ce site propose un portrait de l'ensemble des villes avec un réseau de transport sur rail. À l'aide de la description et des photos, nous déterminons s'il respecte la définition que nous avons préalablement définie. Au besoin, nous nous référons à d'autres sites pour mieux comprendre les caractéristiques des systèmes.

La construction des plans commence avec l'obtention des données GTFS à partir du site `https://transitfeeds.com/`. Ces données sont fournies par les différentes agences de transport aux développeurs comme Google qui offrent des itinéraires de trajet. Elles doivent

contenir un nombre minimal d'informations, dispersées sur plusieurs fichiers CSV dans un format précis. Cela comprend l'emplacement géographique des différentes stations de métro, ou entrées pour y accéder. Le site met à disposition l'ensemble des données GTFS de la majeure partie des agences de transport des États-Unis. Le choix des agences de mettre à jour les données est à leurs discrétions. Nous téléchargeons la version la plus récente de façon à obtenir le plan le plus complet des métros. Sous leur format brut, ces données ne sont pas utilisables, car elles contiennent souvent l'emplacement de plusieurs types de transport (autobus, trains de banlieue, monorails...). Il nous faut donc procéder à plusieurs transformations afin d'identifier les stations de métro pertinentes. Une analyse des différents fichiers nous permet de faire un premier tri et de conserver uniquement les systèmes de métro léger ou circulant sur la chaussée, et les systèmes ferroviaires souterrains au sein d'une zone métropolitaine. Une seconde difficulté est la présence de doublons pour plusieurs stations. Pour corriger ce problème, nous supprimons automatiquement tous les points qui sont à moins de 100 mètres l'un de l'autre. Un travail manuel est effectué afin de s'assurer de l'exactitude des plans. Maintenant que nous disposons des plans des métros en 2018, nous identifions à l'aide des sources Internet la date d'ouverture des stations.

Pour le modèle économétrique, nous utilisons les stations mises en service entre 2011 et 2014. Cela nous permet d'obtenir les effets de deux années avant l'ouverture, jusqu'à quatre années après. Notre échantillon est composé des 92 ouvertures de nouvelles stations, réparties dans 13 régions métropolitaines.

3.3 *Distance station-Block group*

L'analyse s'effectue en fonction de la distance entre les stations et les block group. Nous continuons à travailler avec les centroïdes et calculons la distance euclidienne entre les centroïdes et les stations. Cette distance est convertie en kilomètre. Ce processus est répété

pour chacune des années et uniquement la plus petite distance est conservée. Il ne reste plus qu'à faire la différence entre la période t et t-1 pour identifier les block group pour lesquelles la construction d'une nouvelle station diminue la distance avec la station la plus proche. Cela nous permet de définir nos groupes de traitement et de contrôle.

4 Approche Économétrique

Afin d'évaluer l'impact de la mise en service d'une nouvelle station sur les différentes variables, nous utilisons la spécification suivante :

$$Y_{it} = \sum_{k=-2}^{4} \beta_k \cdot I_{it}(k) + bg_i + année + \epsilon_{it} \tag{1}$$

$$I_{it} = \begin{cases} 1 \text{ si } bg_i \text{ est traité et la période t = k} \\ \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

Ou t = (année observée - année de mise en service) est le temps relatif à l'événement, qui a lieu à t = 0. Y_{it} est la valeur de la variable estimée pour le block group i à la période t. bg_i est le block group i.

Les coefficients β_k pour $k > 0$ donnent l'impact estimé de la mise en service des stations après k années. Le coefficient β_{-1}, soit une période avant la mise en service, est fixé à zéro. De cette façon, l'ensemble des coefficients β estiment l'effet relatif par rapport à la période -1. Nous prenons en compte la corrélation des résidus au sein des différents block group. Les mises en service sont celles qui ont lieu de 2011 à 2014. Cela nous permet d'estimer les effets jusqu'à quatre années après l'événement. Cette spécification nous permet de contrôler pour les caractéristiques propres aux block group i, ainsi que celle des années.

Utiliser les ouvertures à partir de 2011, permet d'estimer un coefficient à la période $t - 2$, qui servira de test afin de vérifier que l'hypothèse des tendances parallèles entre le groupe de traitement et de contrôle. En procèdent ainsi, nous pouvons directement vérifier cette hypothèse sur la forme réduite, simplement en vérifiant la significativité statistique du coefficient β_{-2} pour chacune des régressions.

Un block group est traité s'il remplit deux conditions. La première est que la mise en service d'une nouvelle station doit avoir réduit la distance avec la plus proche station. La seconde est que la distance d'une nouvelle station doit être à une distance euclidienne de moins d'un ou de deux kilomètres. Cette distance est souvent utilisée comme convention dans les études sur le sujet, car elles correspondent à des distances accessibles à la marche, soit entre 10-30 minutes.

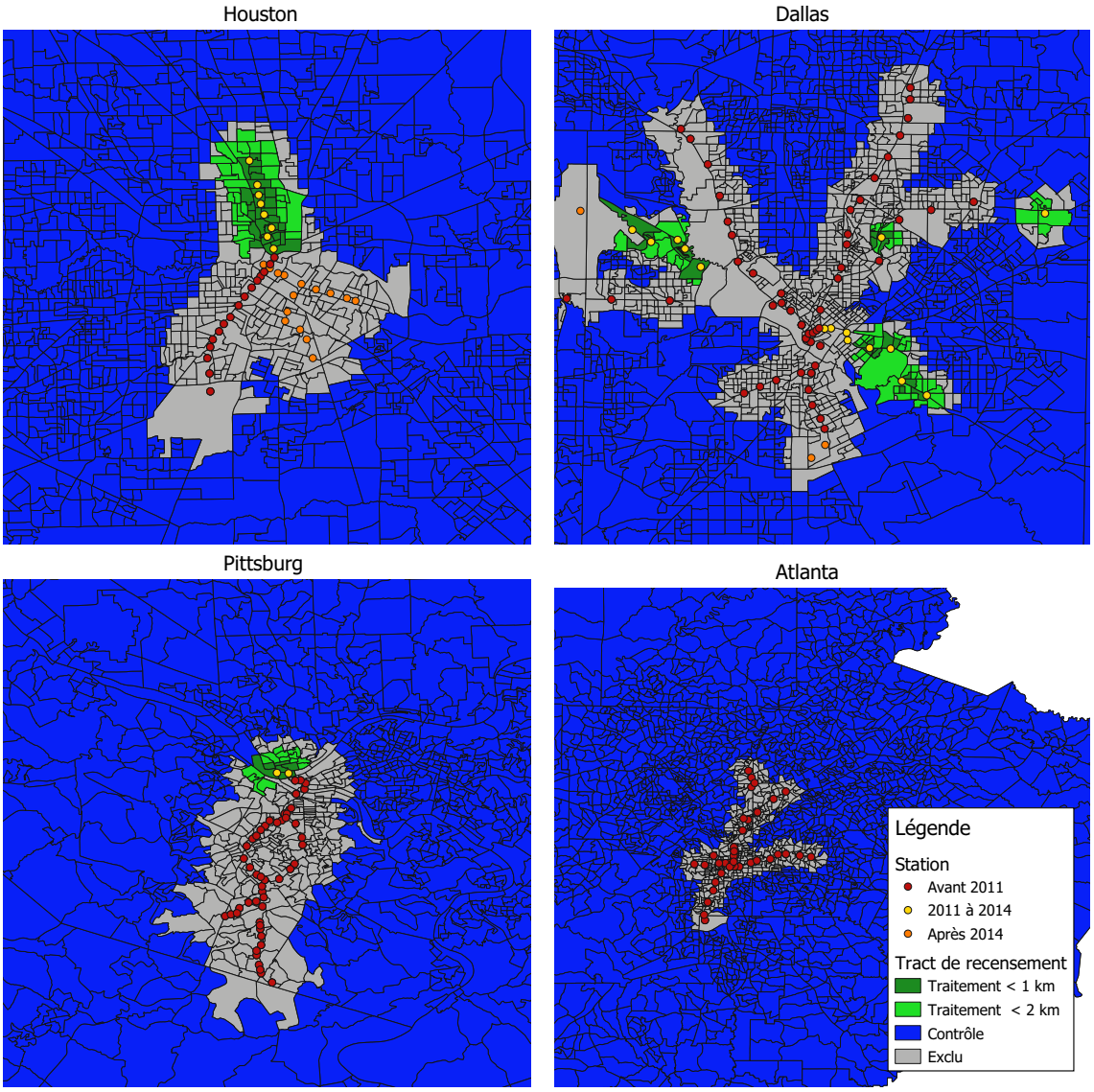

FIGURE 1 – Exemple de groupes de traitement et de contrôle

Plusieurs block group sont retirés de l'échantillon. Nous commençons par ceux qui sont à moins de trois kilomètres d'une station déjà existante avant 2009. Cela nous permet de retirer certains effets de débordement ("spillover effect"), qui pourraient être engendrés par des réaménagements des quartiers sur le long terme. [1] Étant donné que nos estimations vont jusqu'à quatre années après l'ouverture, il est possible que le réaménagement des quartiers n'ait pas le temps de s'opérer complètement. Aussi, nous retirons tous les block group qui ne sont pas dans une zone métropolitaine avec une station de métro. Cela nous permet de contrôler pour certaines caractéristiques qui sont propres aux régions métropolitaines comprenant un métro. Par exemple, la propension des gens a utilisé un métro. On contrôle en partie pour le problème d'auto sélection. La figure 1 présente des exemples des zones traitement et contrôle.

L'approche utilisée dans ce mémoire est sujette au problème des effets confondants. Dans l'idéal, nous aimerions capturer uniquement les effets directs générés par l'ouverture d'une nouvelle station. Toutefois, les villes sont des systèmes dynamiques et complexes. Il est donc possible que nos estimations soient influencées par des effets indirects. On peut penser à d'autres types investissements publics en infrastructure qui aurait lieu dans la même période ou le fait que les stations attirent de nouveaux commerces à proximité. Dans ce cas, il serait possible que la valorisation du quartier soit aussi influencée par ces événements. Étant donnée la taille de l'échantillon, il serait impossible de contrôler pour les différents effets confondants.

1. Certaines stations construites il y a plusieurs années peuvent présenter des effets associés à des transformations de long terme. Des stations construites plus récemment capteraient des effets de court terme qu'on cherche à estimer dans le groupe de contrôle.

5 Résultats

Nous cherchons à estimer les changements dans les caractéristiques des populations avoisinantes la mise en service d'une nouvelle station de transport sur rail. À l'exception du taux d'emploi et du mode de transport utilisé, les variables analysées ne sont pas susceptibles de connaître des changements rapides comparativement à la population de contrôle, sans qu'il y ait des déplacements importants des individus qui composent les quartiers. Nous estimons les effets, jusqu'à quatre années après l'ouverture, ce qui est suffisant pour observer plusieurs changements s'opérer. La significativité et la valeur des coefficients nous informent sur les changements chez les individus qui résident autour des nouvelles stations. À titre d'exemple, une croissance significative dans la proportion de personnes avec un diplôme universitaire est fort probablement le résultat de personne qui décide de s'installer, ou de quitter ces quartiers. En opposition, l'hypothèse que l'ouverture de la station aurait incité une partie importante de la population locale à aller à l'université est peu probable.

5.1 *Densité et âge*

Un premier constat est que la densité de la population ne change pas sur une période de quatre ans. D'un autre côté, on observe plusieurs variables qui montrent que la population qui compose les quartiers entre la période -1 et 4 change. L'un des changements observés est dans la distribution de l'âge de la population. La figure 2 montre les changements dans les proportions, quatre années après une mise en service dans un rayon de 1 kilomètre. La table 3 en annexe présente une description détaillée des coefficients pour les différents groupes d'âge.

Tout d'abord, nous observons une diminution significative de la proportion que représentent les tranches d'âge de 16 ans à 24 ans avec un coefficient de -0.012. La seule

tranche d'âge à connaître une croissance est celle de 25 à 54 ans avec une augmentation de 0.021. Nous n'observons aucun changement chez les tranches de 55 et plus, ainsi que les 15 ans et moins. Les modifications de la distribution n'affectent pas la proportion de personnes dans le groupe d'âge de la population active, soit entre 16 ans et 64 ans. Sachant que la population totale de ces quartiers est stable sur les périodes observées, on peut conclure que les changements de proportion reflètent aussi les changements dans le nombre total d'individus dans les différentes tranches d'âges.

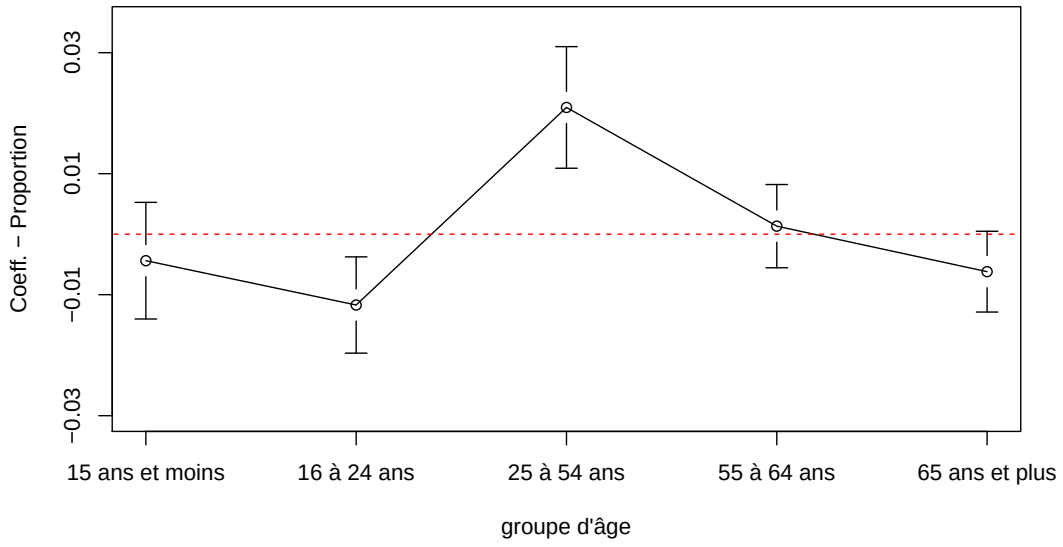

FIGURE 2 – Changement estimé dans la proportion d'individu par tranche d'âge dans une rayon de 1 kilomètre

Note : Les bandes verticales montrent les intervalles de confiances pour un seuil de 95%.

5.2 *Éducation*

Parmi les variables pour lesquelles on observe un changement significativement différent de 0 à un seuil de 95 %, on retrouve le niveau d'éducation le plus élevé atteint pour la population de 25 ans et plus. La table 5 en annexe présente les coefficients. Si on regarde les résultats dans un rayon d'un kilomètre, on observe une croissance dans la proportion de personnes avec un diplôme universitaire de 0.023 après quatre ans, significatifs à 1 %. Ce

changement de proportion représente une croissance de 8,1 % du nombre de personne avec un diplôme universitaire de 25 ans et plus. Nous observons une diminution de l'impact à mesure qu'on s'éloigne des stations, avec un effet 1.4 fois moins important dans un rayon de deux kilomètres. En utilisant la même variable d'éducation, mais en prenant les log de la population par niveau d'étude, plutôt que leur ratio sur le nombre total d'individus de 25 et plus, on remarque que les changements en termes de proportion sont dus à une croissance de la population avec un diplôme universitaire, plutôt que la baisse de celle sans diplôme. Les coefficients estimés montrent une croissance de la population avec un diplôme de 14.4 % après quatre ans, alors qu'aucun effet significatif n'est observé chez la population sans diplôme.

5.3 *Prix des logements*

La table 6 en annexe montre les résultats des estimations de la croissance des prix médians des loyers et des maisons. Plusieurs articles, comme ceux de Chan-Hee et coll. (2002) et Fesselmeyer et Liu (2018) utilisent un modèle hédonique pour contrôler plusieurs caractéristiques des logements. De notre côté, nos données ne nous permettent pas de contrôler pour celles-ci. Nos résultats reflètent plutôt le changement moyen observé dans les unités statistiques de notre échantillon.

Nous estimons une croissance supplémentaire de 5.1 % du prix du loyer, et une augmentation de 7.9 % du prix des maisons, 4 ans après l'ouverture, et ce, dans un rayon d'un kilomètre. La croissance annualisée moyenne du prix d'un loyer, dans l'ensemble de l'échantillon, sur la période de 2009 à 2018, est de 0.6 %. L'augmentation estimée sur quatre années représente 13.1 années de croissance moyenne supplémentaire sur cette période. Alors, que pour les loyers la croissance annualisée est de 2 %. La hausse représente 2.3 années de croissance moyenne en plus sur quatre ans. Comme on le constate dans la table 6 en annexe,

l'impact varie en fonction de la distance avec la nouvelle station. Encore une fois, autant pour le prix des maisons que pour le prix des loyers, l'impact est croissant à mesure qu'on se rapproche de la station.

5.4 *Revenue médian*

On observe une croissance du revenu des ménages de 5.3 % après quatre années dans un rayon d'un kilomètre. En regardant de plus près l'évolution de la distribution des revenus par tranche dans un rayon d'un kilomètre quatre années suivant l'ouverture, présenté dans la figure 3, on constate que cette augmentation est principalement due à une baisse du nombre de ménages avec un revenu inférieur à 30 000 $ par année et une croissance de ceux entre 60 000 et 100 000 $ par année.

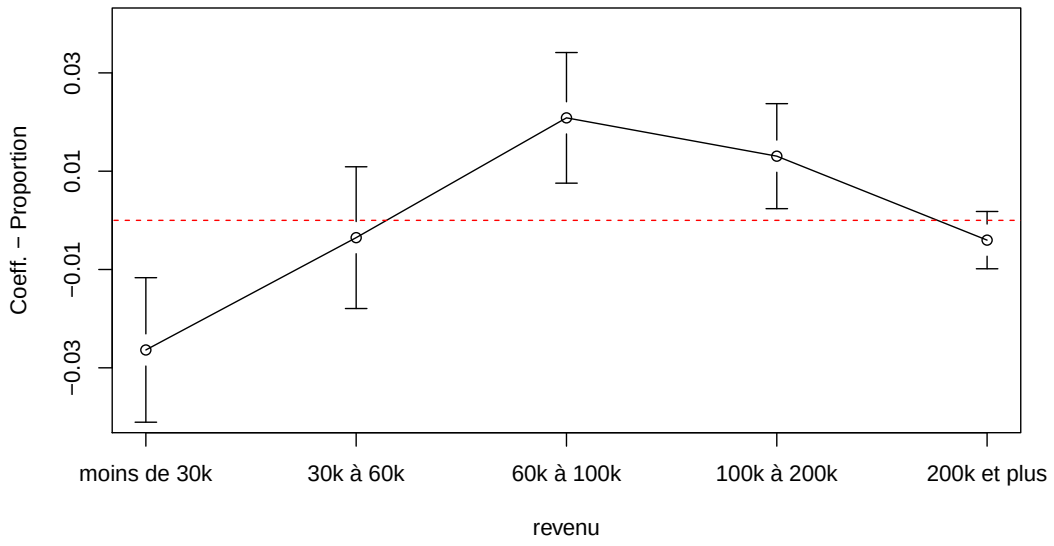

FIGURE 3 – Changement estimé dans la proportion d'individus par tranche de salaire dans un rayon de 1 kilomètre

Note : Les bandes verticales montrent les intervalles de confiances pour un seuil de 95%.

5.5 *Emploi*

Les résultats au niveau de l'emploi présenté dans la table 2, montrent une croissance du taux de personne en emploi de 0.013 point de pourcentage et significatif à 95 % pour les quartiers dans un rayon d'un kilomètre. L'effet diminue à mesure qu'on s'éloigne de la station. Pour un rayon de deux kilomètres, l'impact estimé est de 0.02 point inférieur.

TABLE 2 – Estimation du changement dans le taux d'emploi

	Rayon de 1 km (1)	Rayon de 2 km (2)
Période −2	−0.006*	−0.002
	(0.004)	(0.002)
Période 0	0.00003	0.003
	(0.004)	(0.002)
Période +1	0.006	0.006*
	(0.005)	(0.003)
Période +2	0.013**	0.010**
	(0.006)	(0.004)
Période +3	0.013**	0.011**
	(0.007)	(0.005)

Note : Cette table présente les estimations du modèle principal. Les données sont disponibles à partir de 2011. Pour conserver un nombre suffisant de nouvelles mises en service, la période 4 est retirée et celles se produisant entre 2013 et 2015 sont sélectionnées. Significativité : *p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01 .

5.6 *Transport public*

Nous observons des changements dans les modes de transport utilisés pour se rendre au travail. Nous observons une croissance dans la proportion de personnes qui utilise le

métro de 0.021 dans un rayon d'un kilomètre. Cette hausse représente une augmentation de la proportion d'utilisateurs de 2.6 fois à celle avant l'ouverture. Il est intéressant de constater que ce changement s'opère au détriment de l'autobus qui connaît une diminution de la proportion d'utilisateur de 0.022. Les résultats sont similaires dans un rayon de deux kilomètres, à la différence que la diminution de la proportion dans l'utilisation de l'autobus est plus faible. La diminution de l'impact en fonction de la distance est logique puisque le coût de déplacement pour se rendre au métro est plus élevé étant donnée la plus grande distance, donc moins de personnes ont intérêt à délaisser l'autobus. La table 7 en annexe présente les résultats.

5.7 *Limites*

5.7.1 *Tendance préouverture*

Le coefficient pour la période t-2 est non significatif dans la majorité des régressions. Principalement, on observe des coefficients non significatifs à 5% pour les variables du prix des maisons, de la proportion de personnes avec un diplôme universitaire et la proportion de personnes sans diplôme universitaire, et ce, dans l'ensemble des distances analysé. Cela est un bon indice d'absence de tendance préouvertures. Malgré tout, certaine étude comme Billings (2011) analyse l'ouverture de la ligne Sud à Charlotte qui a ouvert en 2007, et trouve des effets significatif et positif sur la croissance des prix des maisons au minimum 4 ans avant l'ouverture. Certaines pressions sur le prix des maisons se feraient ressentir à la suite de l'annonce de l'ouverture de la station. Certains acheteurs pourraient spéculer sur la croissance du prix des maisons, faisant grimper les prix.

Si cela s'avère être le cas, nos conclusions générales ne changeraient pas. Il est plus probable que nos estimations actuelles auraient tendance à sous-estimer les effets, plutôt que d'affecter le sens de ceux-ci. Par exemple, dans la mesure où les personnes avec des salaires

plus faibles ne réussissent pas à s'installer dans ces quartiers, ou sont davantage poussées vers l'extérieur à cause de la hausse du prix des maisons, alors une croissance plus forte de celles-ci risquerait d'amplifier ce phénomène et d'augmenter la concentration d'individus avec des caractéristiques plus propice à un salaire élevé.

5.7.2 *Tendance de long terme*

Nos estimations vont jusqu'à 4 années suivant l'ouverture, mais rien ne suggère que la croissance du prix des maisons s'arrête. Toutefois, l'effet de long terme sur le prix des logements a été peu abordé dans la littérature. Parmi ceux qui ont étudié l'effet sur une période plus longue, on peut citer Kahn (2007). Il étudie le phénomène de gentrification autour des stations et reconnaît l'importance d'un effet de long terme dans ce phénomène. Dans son cas, ses données lui permettent d'estimer des effets jusqu'à 20 ans suivant l'ouverture d'une station. Il calcule une prime 2 fois plus importante 20 ans après l'ouverture comparativement à 10 ans.

L'une des raisons principales qui explique le manque d'études de long pour est liés aux variables omises et aux effets confondants. À mesure que les années passent, de plus en plus de facteurs sont susceptibles d'affecter l'évolution du prix des logements, autres que la présence d'une station de métro. Il est donc difficile d'isoler leur effet, comparatif à des études de plus court terme, comme celle-ci, où la mise en service d'une nouvelle station est l'événement déterminant du groupe traité.

En revanche, il est possible d'inférer à partir d'effet connexe. Par exemple, l'impact de la proximité des services sur le marché immobilier est un phénomène bien documenté. Il a été montré que la présence de commerce et service ont un impact moyen positif sur la valeur des maisons. Un second effet documenté dans la littérature de l'économie urbaine est la concentration des commerces et des services autour des stations de métro. Plus récemment,

Gonzalez-Navarro et Turner (2018) ont montré que l'intensité lumineuse dans un rayon de deux kilomètres autour des stations diminue à mesure qu'on s'éloigne. De plus, leurs données s'étalent sur 30 ans, ce qui leur a permis de montrer qu'au fil des années l'intensité lumineuse des villes avec un réseau de transport sur rail est de moins en moins concentrée au centre de la ville et davantage en périphérie, ainsi qu'on observe une concentration de plus en plus grande autour des stations de métro.

La croissance de l'activité autour des stations à long terme, cumulé à l'impact positif de l'accessibilité aux services et commerce sur la valeur des maisons, ainsi que les résultats de Kahn (2007), suggèrent que les effets vont au-delà des quatre années que nous estimons.

5.7.3 *Auto sélection*

Le biais d'auto sélection est bien connu dans la littérature sur le transport collectif, principalement sur les impacts des stations de métro, comme cette recherche. Le problème provient du fait que le choix de l'emplacement d'une station de métro n'est pas aléatoire. Les autorités responsables de la construction choisissent l'emplacement qui leur semble le plus bénéfique au sens large. Il est donc possible que les block group du groupe traité partagent certaines caractéristiques, observables ou non, qui peuvent influencer l'évolution des variables que nous estimons. Puisque les autorités vont chercher à construire les stations à des emplacements dont le bénéfice sera le plus élevé, il est possible que nos résultats, notamment le prix des logements, soient biaisés vers le haut.

Certaines études cherchent à corriger ce problème, tel que Tyndall (2018), qui utilise la tendance des planificateurs en transport à étendre les réseaux de transport sur rail vers les aéroports. Pour cela, il utilise les tracts de recensement qui se situent entre l'aéroport et la station existante la plus proche avant 2000. Toutefois, les différents instruments utilisés dans la littérature s'appliquent difficilement à un large échantillon comme celui que nous

utilisons. Nous sommes obligés de reconnaître cette limite lorsque vient le temps d'identifier les effets de traitement moyen.

6 Gentrification

Le principal objectif de cette recherche est de documenter le phénomène de gentrification. Les résultats présentés dans la section précédente pointent vers une gentrification des quartiers.[2] Nous observons plusieurs changements autour des mises en service de nouvelles stations qui correspondent aux effets anticipés dans le cas que l'hypothèse 1 s'avérait être vérifiés. Tout d'abord, nous constatons une augmentation de la valorisation de ces quartiers. De plus, nous observons des indices importants d'un changement dans les individus qui composent les populations locales. Finalement, nous avons aussi une augmentation de la présence de caractéristiques sociales économiques décrivant davantage une classe sociale relativement plus aisée, plutôt que populaire.

6.1 *Valorisation de l'accessibilité au transport sur rail*

Comme mentionné précédemment, la gentrification d'un quartier est un phénomène lié à l'augmentation de la valorisation d'un quartier. Plusieurs aspects peuvent jouer un rôle, mais bien souvent, on peut la relier à un changement structurel dans le quartier, comme un investissement majeur en infrastructure, qui affecte sa dynamique. Il est normal de penser que l'arrivée d'une nouvelle station de transport sur rail puisse potentiellement affecter la dynamique d'une région.

La proportion de personnes utilisant le transport collectif est en croissance depuis le début des années 2000. Cela n'a pas toujours été le cas comme l'ont estimé Baum-Snow et Kahn (2005), qui à l'époque avaient montré que la proportion d'usagers connaissait une diminution, concluant par le fait même que la popularité du transport collectif diminuait.

2. Comme défini précédemment, la gentrification est un accroissement de la valorisation des quartiers populaires, souvent générés par une augmentation des investissements en infrastructures, qui amènent des changements socio-économiques importants, entre autres, l'arrivée d'une population plus aisée financièrement et souvent plus éduqué.

En utilisant les données des recensements américains de 1980 à 2018, on constate qu'ils avaient en partie raison pour la période de 1980 à 2000, mais que les données plus récentes montrent clairement une inversion de la tendance. Comme le montre la figure 4, la proportion d'usagers aux États-Unis connaît une diminution de 1980 à 2000. Toutefois, on observe quand même une reprise de la croissance du nombre d'individus utilisant le transport public dès la décennie de 1990 et la pente des courbes ne fait que s'accentuer depuis. Cette croissance est aussi présente lorsqu'on regarde uniquement le nombre d'usagers du métro. La croissance supérieure de la valeur des maisons et des loyers autour des nouvelles stations de métro de l'ordre de 8.1 % et 5.1 % respectivement est compatible avec cette hausse de la demande pour les services de transport collectif.

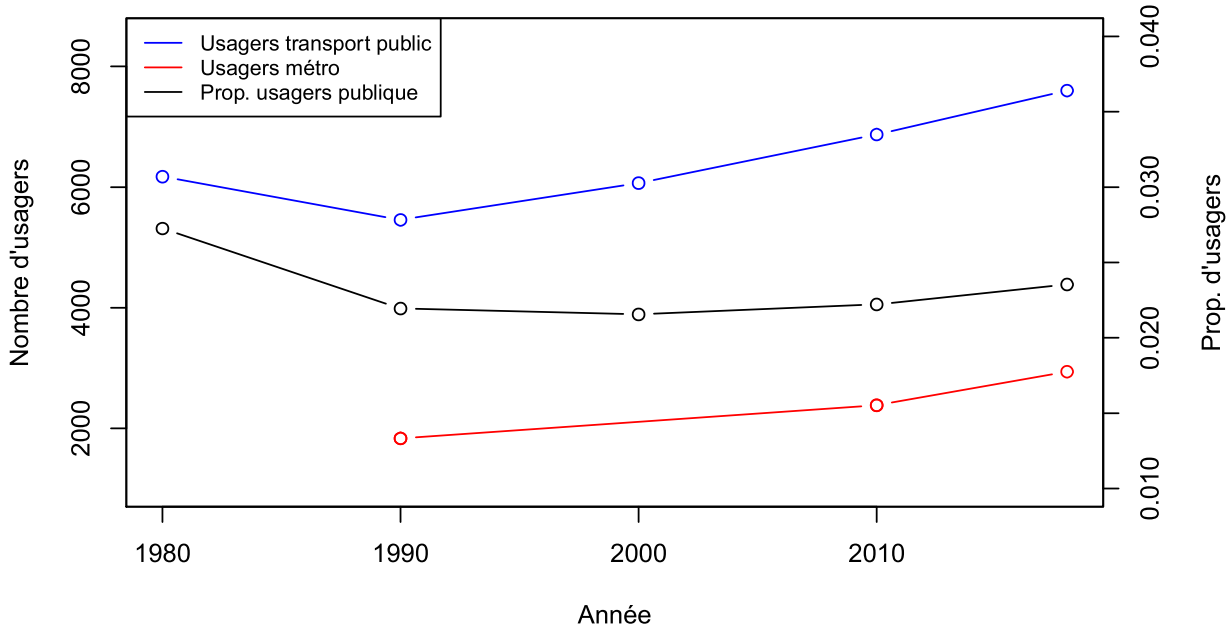

FIGURE 4 – Évolution de l'utilisation du transport public pour l'ensemble des régions métropolitaines incluses dans l'échantillon entre 1980 à 2019

Note **Ligne bleue** : Évolution du nombre d'individu qui utilise le transport public. **Ligne rouge** : Nombre d'individus qui utilisent le métro (données disponibles à partir de 1990). **Ligne noire** : Proportion d'individu qui utilisent le transport collectif. Les lignes bleue et rouge se lisent sur l'axe gauche. La ligne noire se lit sur l'Axe de droite.

Les raisons qui expliquent que des individus soient prêts à payer une prime pour résider autour des stations peuvent être multiples. Parmi celles-ci, nous pouvons citer l'augmentation constante de la proportion de personnes vivant en milieux urbains, qui est passée de 73.7 % en 1980 à 80.7 % en 2010, selon le Census Bureau, ce qui crée des pressions importantes sur les systèmes routiers des villes. Une partie importante des systèmes de transport sur rail, du moins dans l'échantillon que nous utilisons pour cette étude, sont indépendants de la circulation routière. Cette indépendance a pour principal avantage de permettre une plus grande constance du temps de parcours. Dans ce cas, il serait logique d'attribuer une partie de la valorisation au fait que le coût d'opportunité de ne pas avoir accès à un métro est de plus en plus grand. La concentration des services autour des stations de métro (Gonzalez-Navarro et Turner, 2018) peut aussi jouer un rôle sur la valorisation des logements.

6.2 *Anticipation de la croissance des prix*

Un aspect notable des résultats exposés dans la table 6 en annexe est le différentiel de croissance entre le prix des loyers et la valeur des maisons. Une première explication serait qu'il existe des lois qui contraignent la croissance de la valeur des loyers. Plus précisément, quatre États américains ont des lois de ce genre : Californie, Washington DC., New Jersey et New York. Ces limitations pourraient potentiellement biaiser les coefficients vers le bas. Les lois varient d'un État à l'autre, mais reviennent essentiellement à limiter la croissance du prix des loyers à un pourcentage maximal par année. Plusieurs facteurs affectent la croissance maximale autorisée, mais elle tourne autour de 6 % par année. Il est possible que les limites de croissance des prix soient restrictives. Les prix des maisons n'y sont pas assujettis et on observe une croissance supérieure aux loyers. Pour vérifier que ces lois ne génèrent pas un biais, nous estimons la croissance du prix des loyers avec uniquement les zones métropolitaines qui ne sont pas affectées. Nous estimons une croissance de 6.2 % dans un rayon d'un kilomètre, soit 1.1 % de plus que l'ensemble de notre échantillon. Les

coefficients ne sont pas significativement différents à plus de 90 % des estimations faites sur l'ensemble des régions métropolitaines. [3] Cela suggère que les lois américaines sur le prix des loyers ne sont pas suffisamment contraignantes pour affecter significativement la croissance du prix des loyers.

L'augmentation du prix des loyers et des maisons peut refléter un phénomène d'anticipation de la croissance du marché immobilier autour des nouvelles stations de métro. Ce différentiel de croissance dans les prix peut s'expliquer à l'aide de la formule de Gordon introduite par Gordon et Shapiro (1956). On peut l'écrire sous forme de log comme :

$$log(R) - log(P) = log(r - g)$$

Où R est le prix du loyer, soit le montant que rapporte l'actif si le propriétaire loue son logement. P est le prix de l'actif, soit la valeur de la maison. g est la valeur anticipée de la croissance que lui rapporte l'actif à perpétuité. r est le rendement de l'actif. La formule est principalement utilisée dans le domaine de la finance pour évaluer la valeur intrinsèque d'un actif, à la période t, dont le taux de croissance des dividendes (r) est supposé constant. En introduisant une variable de contrôle pour l'année, dans le modèle à effet fixe, nous contrôlons pour les fluctuations dans le temps, ce qui nous permet de supposer un rendement constant. Nous nous intéressons au différentiel de croissance dans le temps entre la valeur de l'actif et ce qu'il paie à son propriétaire :

$$\Delta log(R) - \Delta log(P) \approx log(g_2) - log(g_1) \tag{2}$$

L'équation (2) montre qu'une des explications pour le différentiel de croissance entre le prix du loyer et la valeur de la maison est une anticipation de la croissance du prix des

3. $Z = \frac{\beta_1 + \beta_2}{\sqrt{\sigma^2_{\beta_1} + \sigma^2_{\beta_2}}} = \frac{0.062 - 0.051}{\sqrt{0.014^2 + 0.012^2}} = 0.5726$

loyers. En remplaçant $\Delta log(R)$ et $\Delta log(P)$ par les valeurs estimées quatre ans après la mise en service des stations, on obtient une croissance anticipée du rendement d'environ 3 % pour l'ensemble des distances estimées. [4]

L'évolution des quartiers suivant l'élargissement des systèmes de transit sur rail est propice à ce phénomène. L'étude de Gonzalez-Navarro (2018) fait deux constats essentiels pour expliquer cela. En cherchant à étudier les changements globaux au niveau des villes, plutôt que de se concentrer sur les régions avoisinant une nouvelle station, ils constatent que la concentration de l'activité tend à se décentraliser. Ils constatent aussi que ce déplacement de l'activité se fait vers les stations de métro. L'un des impacts de la construction d'un métro est qu'il améliore l'accès à différentes régions de la ville. Cela permet aux individus, comme aux entreprises de s'installer plus loin des centres-villes et de profiter des prix plus bas, tout en ayant accès aux emplois et services. Ces changements peuvent prendre plusieurs années à s'opérer. Cela pourrait expliquer pourquoi on observe une différence moyenne de 3 points de pourcentage entre la croissance du prix des maisons et des loyers.

Intuitivement, les locataires ont plus de flexibilité sur leurs lieux de résidence. Chaque année, ils prennent la décision de reporter ou non leur location. Une partie importante des gains générés par les nouvelles stations est l'augmentation des services autour. Puisque ces changements peuvent prendre plus de temps à se mettre en place, et que les locataires ont la possibilité de réévaluer leur utilité par rapport au coût du logement, les propriétaires ne peuvent pas capturer cette croissance anticipée d'utilité dans le prix, puisque que se sont uniquement des gains futurs. À l'inverse, l'acheteur est en mesure de profiter de la croissance future de la valeur des logements. Pour visualiser cela, il suffit d'imaginer un propriétaire qui choisit de louer son logement à perpétuité. À mesure que l'utilité croit pour le locataire, le propriétaire peut charger un prix qui est lui aussi croissant. Un vendeur rationnel envisagera cette croissance et définira le prix de vente de sa propriété en fonction

4. Les valeurs de $\Delta log(R)$ et $\Delta log(P)$, pour un rayon d'un kilomètre, sont respectivement 0.051 et 0.081. Elles sont de 0.036 et 0.069 pour un rayon de 2 kilomètres.

de la valeur anticipée du prix de location futur. D'où cette augmentation supérieure de 3% à court terme.

6.3 *Déplacement des populations*

Un aspect important de la gentrification est le déplacement des populations locales. Plus précisément, le fait que le coût financier d'habiter dans un quartier augmente jusqu'à ce qu'une partie de la population soit forcée de quitter à défaut de pouvoir supporter la croissance du coût de la vie. L'aspect le plus marquant est le coût pour se loger, pour lequel nous avons montré une croissance moyenne du prix médian. D'autres aspects peuvent se joindre à cette croissance. Par exemple, on pourrait observer une hausse des taxes. De plus, le phénomène est souvent caractérisé par un changement dans les commerces avoisinant, notamment, un changement dans le prix et le type de produits vendus. Ce qui, à son tour, peut affecter à la hausse le coût de la vie.

Comme discuté dans les sections précédentes, ces changements peuvent prendre plusieurs années avant de s'opérer complètement. Il est donc fort possible que la période de quatre ans suivant l'ouverture d'une station ne soit pas suffisante pour capter l'ampleur des déplacements. Nous sommes tout de même en mesure d'en capter une partie. Pour cela, nous nous concentrons sur la distribution de l'âge et la proportion d'individus avec un diplôme universitaire autour des stations de métro.

6.3.1 *Distribution de l'âge*

Commençons par le plus parlant le changement dans la proportion des âges.[5] Nos données montrent une augmentation de la proportion d'individus entre 25 et 54 ans. Principalement au profit des individus de 24 ans et moins, et dans une moindre mesure, les personnes de 65 ans et plus (avec un seuil de significativité de 10%). Sachant que la densité de la population est stable autour des nouvelles stations, les changements observés dans la distribution ne peuvent pas être le résultat d'un simple effet de changement de l'importance relative des catégories par rapport à la population totale. Par exemple, il n'est pas possible d'expliquer la diminution de la proportion d'individus de 24 ans et moins, par le fait que plus d'individus entre 25 et 54 ans s'installent autour des nouvelles stations tout en maintenant le nombre d'individus dans les autres catégories constant. L'explication retenue est une substitution d'individu entre les différents paliers d'âge et donc, un changement des individus qui constituent la population.

Le niveau d'éducation de la population est aussi un indice important de gentrification. Nos données montrent une croissance de la proportion de 0.023 point de plus dans un rayon d'un kilomètre après 4 ans avec un seuil de significativité inférieur à 1 %. La croissance moyenne annuelle pour l'ensemble des MSA de notre échantillon est de 0.005. La croissance supplémentaire estimée à la période 4 revient à une croissance deux fois plus rapide. Aussi, cela revient à une augmentation de 14.4 % du nombre de diplômés universitaires sur une même période. Cette augmentation qui est difficilement attribuable au fait que nous omet-

5. Le fait que nous utilisons un groupe de contrôle fait en sorte que les changements dans la distribution des âges ne sont pas le résultat d'un vieillissement naturel de la population. Par exemple, sans groupe contrôle, on pourrait attribuer une augmentation de la catégorie d'âge 25 à 54 ans au fait qu'une partie importante de la population avait entre 21 et 24 ans. Dans ce cas, lors de la quatrième période, les individus de 21 ans auraient tous juste atteint 25 ans (donc passeraient dans la catégorie 25 à 54 ans). Toutefois, nous n'avons aucune raison de croire que notre groupe de traitement soit plus sujet à ce type de distribution (autour des extrémités supérieures des bandes) que le groupe de contrôle. De plus, nous n'avons aucune raison de croire que la population du groupe de traitement soit plus à risque de données naissance, ou de décéder comparativement au groupe de contrôle. Il est donc peu probable que les changements observés dans la proportion par catégorie d'âge soient le résultat de phénomène particulier qui affecte la concentration de la population dans les extrémités de la distribution.

trions un effet qui insisterait la population à aller aux études supérieures. Plus précisément, l'ouverture d'une nouvelle station à proximité d'un quartier ne devrait pas avoir d'effet causal significatif sur la participation de la population déjà installée. D'un autre côté, on peut penser que plusieurs individus décideraient de s'installer dans ces quartiers pour profiter de l'accès au métro pour se rendre à leur université, donc un afflux de nouveaux habitants.

6.3.2 *Emploi et éducation*

La gentrification se caractérise par une augmentation de la concentration d'une population plus aisée que celle initialement observée. Pour vérifier cela, une partie importante de notre analyse se concentre sur le revenu des ménages et les variables qui affectent celui-ci. Comme montré dans la section des résultats, nous estimons une croissance significative du revenu médian des ménages de 5 % supérieur à la moyenne après 4 ans. Nous observons aussi une augmentation du taux d'emploi de 1.3 point de pourcentage sur 3 ans. Toutefois, au simple regard de ces données, nous ne pouvons pas directement attribuer cette hausse aux nouveaux arrivants. Le scénario dans lequel l'ouverture d'une nouvelle station de métro permet aux individus d'accéder à un plus grand nombre d'emplois et ainsi avoir la possibilité d'améliorer les conditions de travail, dont le salaire est un scénario fort probable que nous ne pouvons pas ignorer.

Une des hypothèses pour expliquer une croissance du taux d'emploi et du revenu médian serait celle de l'inadéquation spatiale (Spatial mismatch hypothesis). Les entreprises américaines ont tendance à localiser les emplois de plus en plus à l'extérieur des centres-villes. De façon plus précise, on assisterait à un déplacement de certains types d'emplois du centre des villes vers les régions en bord de celle-ci. Les emplois qui demandent un niveau d'éducation plus élevé se concentreraient dans les centres-villes, alors qu'à l'inverse les autres emplois sont relocalisés plus loin (W. Sanchez 2007). L'idée de cette hypothèse est que les emplois demandant moins de qualification sont plus difficiles d'accès. Les personnes moins

qualifiées ont en moyenne une plus faible mobilité, entre autres, car la proportion de ménage sans véhicule est plus élevée à mesure que le revenu du ménage diminue. Selon les données de NHTS 2017, la proportion de ménages avec un véhicule privé est 11 fois plus grande pour un ménage avec un revenu supérieur à 25000 dollars, comparativement à un revenu inférieur à 25000 dollars. Les emplois situés à l'extérieur ou en bordure étant plus compliquée d'accès, il est plus difficile pour quelqu'un ne disposant pas de véhicule de s'y rendre. Les emplois sont donc inadéquatement situés pour répondre à l'offre de travail peu qualifié.

Dans cette optique, l'amélioration du transport collectif aurait pour effet de facilité l'adéquation entre travailleur et entreprise permettant l'accès, pour plusieurs travailleurs, à davantage de choix, leur offrant plus de pouvoir sur leurs conditions de travail. À l'opposé, les gains observés sur l'emploi et le revenu pourraient simplement être dus à une croissance de la concentration d'individu avec un emploi et un revenu plus élevé. Le reste de la section cherche à comprendre, du mieux que nous pouvons avec les données mises à notre disposition, d'où proviennent ces changements.

À la vue des données, l'hypothèse de gentrification semble la plus probable. Dans un rayon d'un kilomètre autour des nouvelles stations, la croissance du taux d'emploi représente une croissance de 2.1 % par rapport à la moyenne de la période -1. En rapportant se pourcentage au nombre de personnes avec un emploi, on obtient qu'en moyenne 27 personnes de plus ont un emploi par block group traité. Bien qu'avec nos données, il soit impossible de conclure qu'aucune partie de la croissance du taux d'emploi résulte d'un effet positif sur l'augmentation de la probabilité de trouver un emploi engendré par la mise en service de la nouvelle station, plusieurs indices pointent vers un effet qui est majoritairement dû à un changement chez les individus qui composent la population.

Aux États-Unis, la tranche d'âge avec le taux d'emploi le plus actif est celle entre 25 et 54 ans, alors que celle de 16 à 24 est la moins active, suivie de celle de 55 à 64 ans. Dans notre échantillon, les taux d'emploi par tranche d'âge à la période -1 sont respectivement 0.67,

0.42 et 0.55. En divisant la population selon ces tranches, on peut écrire que le nombre de personnes avec un d'emploi, au sein de la population active est simplement $A_t = \sum_{i=1}^{3} N_{t,i}\delta_i$, où t est la période, i la tranche d'âge, A est le nombre moyen de personnes avec un emploi, N est la population active et δ est le taux d'emploi moyen. Le nombre d'individus avec un emploi est la somme du nombre d'emplois dans les trois tranches d'âge. Puisque nous nous intéressons à l'évolution entre la période -1 et 4, nous pouvons réécrire la formule comme suit : $A_4 = \sum_{i=1}^{3}(1+\%\Delta pop_i)N_{-1,i}\delta_i$, où $\%\Delta pop_i$ est le taux de croissance de la population entre la période -1 et 4. $\%\Delta pop_i$ est calculé à partir des changements dans les proportions d'individus par tranche d'âge.[6] Nous supposons aussi que δ est constant à travers les périodes.[7]En substituant les valeurs pour calculer A_{-1}/N_{-1} et A_4/N_4, on obtient respectivement 0.603 et 0.611. Ainsi (0.611 - 0.603 =) 0.008 point de la croissance observée sur le taux d'emploi s'explique par un changement dans la distribution des âges à la suite d'une mise en service de station. Sans tenir compte de l'augmentation du niveau d'étude et du phénomène d'auto sélection des personnes ayant déjà un emploi qui décident de s'installer autour des stations de métro, on explique ($0.008/0.013 * 100$ =) 62 % du changement par des déplacements, plutôt que par une augmentation de la probabilité de se trouver un emploi.

6. Puisque la densité ne connaît aucun changement significatif et donc que le nombre d'individus vivant dans les quartiers suivant une mise en service ne change pas, nous pouvons calculer la croissance de la population pour chacune des tranches comme $\%\Delta pop_i = \frac{prop_{4,i} - prop_{-1,i}}{prop_{-1,i}} * 100 = \frac{\beta_{4,i}}{prop_{-1,i}} * 100$. $prop_{-1,i}$ est la proportion que représente la tranche d'âge à la période $t-1$ et $\beta_{4,i}$ correspond à la croissance de la proportion de population pour la tranche i. Plus précisément, $\beta_{4,i}$ est simplement $prop_{4,i} - prop_{-1,i}$ pour lequel on contrôle pour les effets fixes. En substituant les valeurs on obtient que $\Delta pop_1 = -0.092$, $\Delta pop_2 = 0.05$ et $\Delta pop_3 = 0$.

7. Pour maintenir δ constant, nous faisons l'hypothèse qu'il n'y a pas de sélection endogène des individus qui viennent s'installer dans ces quartiers. Cette hypothèse n'est pas réaliste dans ce cas-ci, puisque nous avons argumenté sur une augmentation des caractéristiques qui augmentent la probabilité d'avoir un emploi. Dans ce cas, il serait plus réaliste de supposer un taux d'emploi plus élevé à la période 4. Cela nous amènerait à sous-estimer la proportion de la croissance du taux d'emploi qui est attribuable à l'arrivée de nouveaux capitaux. Nous faisons cette hypothèse, car les données que nous disposons sont trop agrégées pour spécifier davantage de paramètres. Étant donné que l'objectif n'est pas de définir précisément la part de chacun des effets sur le nombre d'emplois supplémentaires, mais simplement d'obtenir un ordre de grandeur, cette hypothèse semble raisonnable.

6.3.3 *Croissance du revenu des ménages*

Le dernier aspect de la gentrification qui nous intéresse est la croissance du revenu médian des ménages. Étant donné les précédentes observations effectuées sur le taux d'emploi, la proportion d'universitaires et la distribution de l'âge, l'augmentation de 5.3 % du revenu médian est compatible. En regardant de plus près, on constate que ce résultat confirme davantage l'arrivée d'une population plus aisée. Plusieurs processus pourraient expliquer une croissance du revenu médian. Entre autres, une diminution des revenus au bas de la distribution, au profit des revenus supérieur. Sachant que n'avons pas pu expliquer l'entièreté de la croissance du taux d'emploi par l'arrivée de nouveaux capitaux. Une partie de ce changement pourrait être expliqué par l'hypothèse de l'inadéquation spatiale et le fait que l'amélioration du système de transport collectif facilite l'appareillement travailleur employeur, entre autres, en augmentant le nombre d'emplois disponibles, ce qui offrirait aux travailleurs un plus grand pouvoir de négociation sur leurs conditions de travail, tel que le salaire.

Toutefois, le changement observé est trop concentré dans le haut de la distribution pour expliquer la croissance de revenu de cette façon. Plus précisément, en regardant la figure 3 de la section précédente, qui présente les coefficients estimés du changement dans la proportion des tranches de revenu pour la période 4, on constate une diminution de la proportion d'individus avec un revenu inférieur à 30000 dollars. Si on regarde les quantiles de la distribution du revenu médian dans l'ensemble de notre échantillon, le premier quintile est à 43071 dollars. Alors que la diminution de la proportion de cette tranche de revenu est compensée par une augmentation de la tranche entre 60000 et 200000 dollars, soit des salaires situés dans le 3e et 4e quintile (la médiane est de 63068 et le 4e quintile débute à 89773). La croissance du revenu médian est générée par une augmentation des ménages avec un revenu élevé.

On peut aussi ajouter qu'il s'agit d'un indice supplémentaire d'un déplacement des populations. Il est peu probable d'observer une croissance significative du revenu d'un ménage du 1er quintile vers le 3e quintile, soit un doublement du revenu en 4 ans.

6.4 *Étude de cas - La Silver Line à Washington*

Le métro de Washington entre en service en mars 1976. Initialement, le métro est constitué d'une seule ligne comprenant six stations. Rapidement, plusieurs autres vont s'ajouter. En 2020, on compte six lignes et 91 stations, pour un total de 188 kilomètres de rails. La dernière ligne à avoir été construite est la *Silver Line*. Bien qu'elle a été envisagée dès le début de la mise en service du métro, dans l'objectif de connecter la ville à l'aéroport international de Washington-Dulles, les procédures officielles pour sa construction débutent en avril 2000. À ce moment, les débuts de la construction sont prévus pour 2005, mais certains problèmes liés à l'approbation du budget reportent le commencement des travaux à 2008. La Silver Line, qui permet de connecter le nord-ouest de la ville, entre en service le 26 juillet 2014. Sa construction représente 5 nouvelles stations réparties sur 18.7 kilomètres de rail. Toutefois, la ligne s'étend à l'est, jusqu'à la station Largo Town Center, en partageant les rails déjà existants de la ligne orange et bleu. Cela permet aux usagers d'accéder directement au centre-ville. L'objectif initial de connecter le réseau du métro à l'aéroport n'est pas encore achevé. Cette expansion était prévue pour 2018, mais a été reportée à plusieurs reprises, et est maintenant prévue pour 2021.

Kahn (2007) étudie l'évolution des quartiers autour des stations de métro de 14 villes américaines entre 1970 et 2000 et identifie Washington DC comme l'une des villes ayant subi la plus grande gentrification à la suite des ouvertures. Ce constat est aussi supporté par une étude de Institute on Metropolitan Opportunity de l'Université du Minnesota (2019) qui conclut que parmi les principales villes américaines, Washington est celle qui a connu la

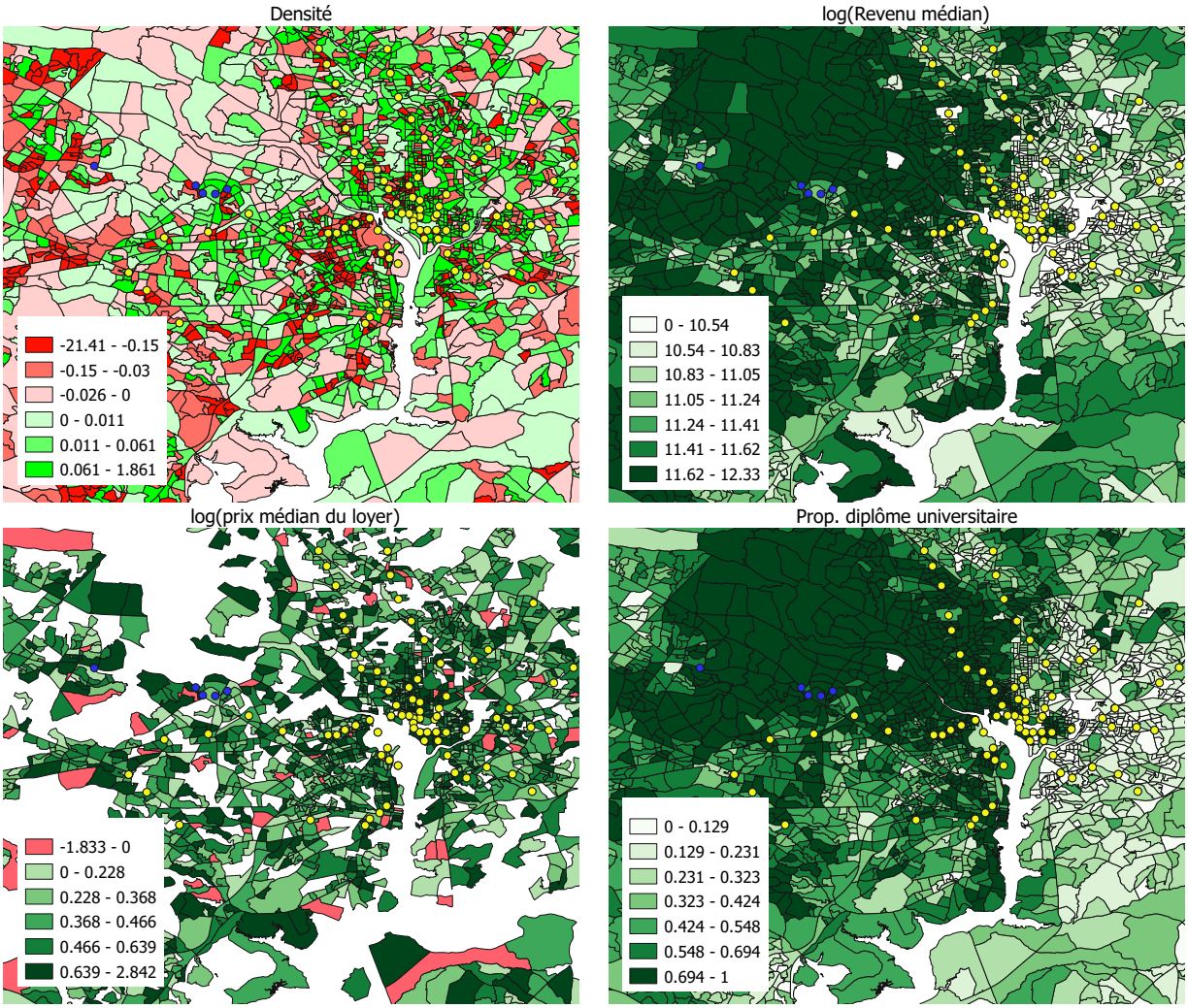

FIGURE 5 – Évolution des caractéristiques dans la région métropolitaine de Washington entre 2009 et 2018

plus forte gentrification entre 2000 et 2016. La figure 5 montre une carte de l'évolution de certaines caractéristiques observées entre 2013 et 2018. La table 8 en annexe présente une description plus détaillée de leur évolution.

Un survole rapide de la colonne 5 de la table 8, nous permet de constater une évolution similaire des moyennes autour des nouvelles stations à celle de l'effet de traitement moyen que nous avons estimé précédemment pour l'ensemble de notre échantillon. Selon ces résultats, l'expansion du métro en 2014 a généré une gentrifcation autour de celle-ci. Si on analyse l'évolution des variables de façon relative, l'effet semble légèrement moins

important comparativement aux effets estimés sur l'ensemble de l'échantillon. Autre l'augmentation plus élevée de personne avec un diplôme universitaire, qui peut être plus difficile à interpréter, étant donné le changement de la densité, on observe une croissance du prix médian de 3 % des loyers, une différence de 2.1 points de pourcentage de moins que l'effet de traitement moyen. On observe aussi une croissance inférieure à la moyenne de l'échantillon de 2 points de pourcentage du revenu médian. Toutefois, si on regarde en terme absolu, les impacts sont plus importants. Étant donnée la valeur des caractéristiques initiales autour des nouvelles stations de la Silver Line qui sont plus élevés que les moyennes générales de notre échantillon en ce qui a trait aux prix médians des loyers, prix médian des maisons, proportion de diplômés universitaires, revenu médian des ménages et au taux d'emploi (voir table 1), la croissance en terme absolu est plus importante. On peut aussi soulever la présence de deux phénomènes discutés précédemment : l'effet de substitution dans le type de transport utilisé et l'anticipation de la croissance de la valeur des maisons.

L'impact sur l'utilisation du transport public dans ce cas-ci est plus important que l'ATE estimé précédemment, qui est presque nulle en moyenne (voir table 7 en annexe). Dans le cas de Washington, on observe une croissance totale de la proportion d'utilisateurs de (0.06 + (-0.02) =) 0.04 point dans la proportion de personnes qui utilisent le transport public. Comme le montre les résultats de la table 8, une partie de la croissance de la proportion d'usagé du métro provient d'un changement des habitudes dans le type de transport public utilisé. Cette croissance supérieure à l'ATE général montre une hétérogénéité dans les effets à travers les différents projets. Il peut être difficile de comprendre précisément les raisons qui expliquent les différences d'impact et cela va au-delà de l'objectif de ce mémoire qui cherche avant tout à se pencher sur les effets moyenne, plutôt que les effets liés aux caractéristiques propres de chaque ville et projet. Toutefois, on peut mentionner que l'expansion de la *Silver Line* permet aux populations de rejoindre directement le centre-ville, qui est un aspect non négligeable. D'un autre côté, il est possible que Washington soit un cas à part au niveau du transport pour d'autres raisons. Baum-Snow et Kahn (2005) étudient l'impact de l'accrois-

sement des systèmes de transit entre 1970 et 2000 dans 16 villes américaines et constatent que Washington est la seule ville à connaître une croissance positive de la proportion d'utilisateurs.

Le second effet est l'anticipation de la croissance des prix. Comme discuté, les changements structurels autour des métros peuvent prendre plusieurs années à s'opérer, ce qui peut expliquer le différentiel de croissance de l'augmentation de la valeur des maisons et du prix des loyers. Cette hypothèse s'observe dans le cas de la capitale américaine. Cette anticipation de la croissance est de l'ordre de 5% après quatre années, ce qui est supérieur au différentiel moyen par 2 points de pourcentages. Cette différence s'explique entièrement par une plus faible croissance du prix des loyers.

7 *Captation de la valeur foncière*

La *Captation de la valeur foncière* (CVF) est une méthode de financement par laquelle les autorités capture une partie ou la totalité des gains générés par les infrastructures publiques directement chez les propriétaires de terrains privés. L'idée générale est que les propriétaires bénéficient d'une croissance de la valeur de leurs propriétés qui n'est pas méritée, dans le sens où cette croissance ne leur a rien coûté. Il s'agit d'aller chercher cette augmentation directement chez les propriétaires. Comme mentionné précédemment, Gupta et coll. (2020) montrent qu'il est possible de moduler le taux de taxation en fonction des caractéristiques des propriétés, et que cela permet d'aller chercher une plus grande partie de la valeur générée par celle-ci. Un second avantage de cette modulation est qu'elle peut sembler plus équitable. Les gains privés ne sont pas répartis également à travers les logements. Puisque certains profitent davantage que d'autres, il peut sembler justifiable que certains paient davantage. Nos données ne nous permettent pas d'estimer la croissance en fonction des caractéristiques des logements, mais nous pouvons illustrer le point et la pertinence en fonction de la distance avec la nouvelle station. La colonne prime de la table 3 montre les gains sur le prix des maisons en fonction de la distance avec la nouvelle station. Les trois premières lignes montrent que les estimations de la croissance du prix médian des maisons passent de 8.08% dans un rayon d'un kilomètre à 5.4% dans un rayon de deux et trois kilomètres, si on prend l'ensemble des ouvertures de notre échantillon. Tous les gains étant significatifs à plus de 95%, il peut être justifiable que la taxe s'applique aux propriétés jusqu'à trois kilomètres. La table 3 présente différents scénarios d'une taxe forfaitaire.

Les rayons étudiés sont ceux autour des ouvertures de stations de 2011 à 2014. Le premier scénario présente une taxe uniforme de 5% pour l'ensemble des maisons dans un rayon de trois kilomètres. Le second est celui où le gouvernement accapare 100% de la valeur de la prime estimée en fonction de la distance. Dans le troisième cas, le gouvernement récupère 78.4% de la valeur de la prime, soit le montant minimal pour financer le coût de

construction de l'ensemble des nouvelles stations de notre échantillon de 2011 à 2014. La valeur totale du stock de maisons est le produit du prix médian des maisons et du nombre d'unités d'habitation par block group selon les valeurs de 2014.

Les différents scénarios de la première section montrent qu'il aurait été possible de financer l'ensemble des projets de notre échantillon uniquement en capturant une partie du surplus de valeur générée sur les propriétés privées. La CVF a le potentiel d'être un outil de financement très important, mais peut rencontrer certaines limites. La table 9 en annexe présente un résumé du coût par projet.[8] Comme on peut le constater, il existe une forte variabilité dans les coûts de construction. La Silver Line qui s'étend sur 18.7 kilomètres a coûté 3 milliards $US. À l'opposé l'ajout à Boston de la station Assembly sur une ligne déjà existante a coûté environ 20 millions $US. La section 2 et 3 de la table 3 présente les mêmes scénarios, mais appliqués à des projets en particulier, Washington est un cas où l'application d'une taxe modulée en fonction de la distance n'est pas suffisante pour financer l'entièreté de l'expansion. À noter que la prime est négative et non significative passé un rayon de trois kilomètres. Il n'est donc pas possible de capturer la valeur ajoutée sur ces propriétés. En capturant la totalité de la prime dans un rayon de deux kilomètres, on finance 0.88/3 = 29.3% de la construction. Afin de subventionner 100% du projet, il faudrait taxer les maisons 3.41 fois la prime estimer. Le dernier cas analysé est celui de ligne orange de Denver et présente un projet d'infrastructure pour lequel la CVF permettrait de financer l'intégralité des coûts de construction. Pour ce cas, afin de financer le projet, il faudrait prélever 77% de la prime générée pour les différents segments dans un rayon de trois kilomètres.

La CVF peut permettre à elle seule de complètement financer certains projets, sans que les autorités prennent l'entièreté de la croissance de valeur. Tout chose étant égale par ailleurs, les propriétaires sont gagnant par rapport au scénario dans lequel l'investissement n'est pas fait. Dans d'autres cas, il permet de financer une partie d'un projet. Nous nous

8. Le coût des projets est identifié à partir de divers sites et rapports.

Table 3 – Scénario de niveau de taxe pour financer les projets

				Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
		Prime (%)	Valeur totale du stock de maisons	Taxe (%)	Montant	Taxe (%)	Montant	Taxe (%)	Montant
Tous les projets	1 km	8.08***	35.95	5	1.80	8.08	2.91	6.34	2.28
	2 km	6.14***	60.43	5	3.02	6.14	3.71	4.81	2.90
	3 km	5.35***	56.62.00	5	2.83	5.35	3.03	4.20	2.38
	Total		**285.33**		**7.65**		**9.65**		**7.56**
Washington	1 km	8.51*	3.33	5	0.17	8.51	0.28	29.02	0.96
	2 km	9.65***	6.20	5	0.31	9.65	0.60	32.91	2.04
	3 km	-1.3*	9.39	-	-	-	-	-	-
	Total		**18.92**		**0.48**		**0.88**		**3**
Denver	1 km	12.94***	4.34	5	0.22	12.94	0.56	9.95	0.43
	2 km	4.99	4.93	5	0.25	4.99	0.25	3.84	0.19
	3 km	2.20**	4.59	5	0.23	2.20	0.23	1.69	0.08
	Total		**13.86**		**0.7**		**1.04**		**0.7**

Notes : La table présente 3 différentes façons de taxer les logements. **Scénario 1 :** une taxe forfaitaire de 5%. **Scénario 2 :** Une taxe équivalente au montant de la prime en fonction de la distance avec la nouvelle station la plus proche. **Scénario 3 :** Une taxe équivalente à la proportion de la prime nécessaire pour tout juste couvrir les coûts. Les proportions sont respectivement 0.78, 3.41 et 0.77. La colonne de valeur totale du stock de maisons et celles les montant sont en milliard de dollars américains. Significativité : *p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01

sommes contentés d'estimer les impacts sur le marché résidentiel, mais la croissance de la valeur de l'immobilier devrait aussi affecter le marché commercial. Il serait possible pour les autorités d'appliquer le même type de taxe à ce marché et augmenter davantage les revenus générés. L'un des principaux avantages de la CVF est qu'elle est plus facilement justifiable politiquement et socialement, dans la mesure où la taxe ne dépasse pas le gain de valeur des logements.

7.1 *Limites de la CVF*

7.1.1 *Stock de capital*

Plusieurs aspects peuvent jouer un rôle important sur la performance de la CVF. Le premier est la concentration de capital autour des stations. Les projets construits dans les zones où la concentration de logement et de bâtiment commercial est plus élevée affectent la croissance des prix sur un stock de capital avec une valeur initiale plus grande. Dans ce cas, un impact similaire sur les prix aura un effet plus important sur le revenu total. Ainsi dépendamment du coût du projet, le montant total de la taxe récoltée peut ne pas suffire à le couvrir.

Comme on peut l'observé dans la table 3, le financement de l'ensemble des projets de notre échantillon aurait pu être fait en taxant 78 % de l'augmentation de la valeur des maisons engendrée par les nouvelles stations. Comme mentionné, en pratique ce scénario n'est pas applicable puisque la distribution du capital et le montant des investissements n'est pas uniformes. L'exemple de Washington illustre bien cela. Le coût de construction s'élevait à 3 milliards de dollars dans une région de la ville avec un faible niveau de concentration de valeur des logements. Pour réussir à financer l'ensemble de la construction, il aurait fallu imposer une taxe équivalente à 3.4 fois la croissance de la valeur des maisons. À l'inverse, le cas de Denver montre qu'il est effectivement possible de financer le projet de cette façon. Il

suffirait de capturer 76 % de la valeur générée pour financer 100 % du projet et ce malgré que la valeur du capital immobilier autour des nouvelles stations est (13.86/18.92 =) 0.73 fois celui des stations de Washington. L'efficacité de cette méthode dépend directement du ratio coût d'investissement sur capital en fonction de la valeur supplémentaire que génère le projet sur le stock immobilier. Effectivement, il est possible d'étendre la taxation au-delà des logements, comme aux commerciales par exemple. Mais le principe demeure le même, simplement appliqué à une valeur de stock plus élevé.

7.1.2 *Tax Pass-Through*

Un aspect important que nous n'avons pas tenu compte dans l'estimation du montant généré par la CVF est le *pass-through* de la taxe. La façon d'évaluer la valeur des propriétés que choisissent les villes joue un rôle important sur le montant qu'elle pourrait prélever en appliquant une taxe sur la valeur engendrée par un investissement. La méthode d'évaluation diffère selon la ville, la valeur, le type de bâtiment, etc. Il existe aussi plusieurs exemptions de taxe et autres mécanismes d'allègements fiscaux qui peuvent jouer sur la valeur estimée. Étant donné le processus d'évaluation de la valeur des propriétés, la croissance de la valeur du capital n'est pas complètement reflétée dans le calcul ce qui réduit le revenu que procure la taxe. À titre d'exemple, Gupta et coll. (2020) calculent, que pour la ville de New York, seulement 30% de la croissance du marché immobilier est représentée dans l'évaluation de l'estimation, pour une période de 5 ans et plus. Cette estimation est proche de l'élasticité du revenu des taxes sur les propriétés en fonction de la croissance du prix des maisons au niveau national effectué par Lutz (2008). Il trouve une élasticité de 0.4.

En prenant l'estimation de Lutz et la croissance du prix des maisons que nous avons estimé à l'ensemble de notre échantillon, la prime qui est capturée par l'estimation des villes serait de (0.3*0.08 =) 2.4%. En appliquant ce *pass-through* à l'ensemble des rayons de nos scénarios pour l'ensemble des projets, on obtient un revenu maximal total de 2.9 milliards

de dollars, soit (2.9/7.56 =) 38% du coût total de construction de l'ensemble des projets de métro de l'échantillon.

Le comportement des agents peut aussi affecter la valeur totale capturée. Comme nous avons montré précédemment, il existe un phénomène d'anticipation de la croissance des logements. Ce comportement d'anticipation de la part des agents peut avoir un rôle important sur la valeur des maisons. La mise en place d'une taxe future pourrait limiter la croissance des prix, étant donnée que les agents seraient amenés à tenir compte de la taxe dans le prix total de l'achat. Ainsi, cette croissance limitée de la valeur des maisons réduirait le montant total capturé par la taxe.

7.1.3 *Inélasticité de l'offre de logement*

Un autre aspect important qui peut jouer un rôle sur la croissance de la valeur des maisons et donc le revenu d'une taxe est l'offre de logement. Comme le mentionne Saiz (2014) l'offre de logement est fortement influencée par les contraintes physiques comme le niveau de pente du terrain, les types de sols et les zones d'eau comme les rivières, ainsi que le zonage. Dans ce contexte, l'impact sur le prix des logements peut fortement varier d'un quartier à l'autre.

Étant donné que le revenu de la taxe généré par la CVF dépend de la croissance supplémentaire de la valeur du capital autour des nouvelles stations, l'élasticité de l'offre de maisons est un facteur déterminant. Saiz (2014) conclut que la géographie de la région est le facteur le plus déterminant de l'offre. D'autres facteurs peuvent affecter l'offre, notamment les lois entourant le type de zone. Davantage de contraintes au niveau de la construction pour de nouveaux logements entraînent une baisse de l'élasticité. Cela se traduit par une plus grande augmentation de la valeur des maisons en opposition à un quartier ou les caractéristiques géographiques sont moins limitantes.

L'application de la CVF et le montant engendré est en relation inverse avec l'élasticité des quartiers. En effet, si les limites à la construction de nouvelle habitation sont plus faibles, alors l'accroissement de la demande devrait être comblé en plus grande partie par du nouveau capital résidentiel. Ainsi, la croissance des prix serait en partie (ou en totalité) annulée par une augmentation de l'offre. Dans ce cas, la valeur capturable est plus faible. Nous avons estimé une croissance de 8.08% des prix autour des stations. Comme discuté précédemment, il s'agit d'une croissance importante sur quatre ans. Ce résultat tend à montrer que l'élasticité de l'offre des quartiers traités de notre échantillon est faible en moyennes. Évidemment, nous travaillons sur des moyennes et la disparité des effets peut grandement varier. Il est donc essentiel, dans le cas d'une application réelle, de tenir compte des caractérises propres à l'environnement physique et légal (zonage).

8 Conclusion

La croissance de la population urbaine génère une pression de plus en plus grande sur la demande de transport collectif. Plusieurs villes réagissent à ce changement avec des investissements en transport public tel que l'expansion de leur réseau de métro. Cette recherche tant à confirmer l'intérêt de la population de résider proche de celle-ci. En utilisant la géolocalisation des zones de recensement pour identifier les changements de distance avec la plus proche station, à l'aide d'un jeu de données unique, nous avons estimé une croissance du prix de maison de 8.1% après quatre années suivant l'ouverture d'une nouvelle station, ainsi qu'une augmentation des loyers de 5.1%. Ces changements dans la valeur des logements reflètent un intérêt vis-à-vis l'accès au transport public. Nous avons aussi montré que de tels investissements peuvent avoir des effets directs sur les populations endogènes avoisinantes, qui sont, en partie, poussés à l'extérieur de ces quartiers. Les changements démographiques observés présentent des indices forts d'une gentrification des quartiers avoisinant ces ouvertures. Notamment, on constate une croissance du revenu des ménages et de la proportion d'individus ayant obtenu un diplôme universitaire. Dans une seconde partie, nous avons montré qu'il serait possible de financer en partie ces investissements via une augmentation des taxes foncières définies en fonction de la valeur générée sur la valeur des maisons. Toutefois, financer la construction de ces projets de cette façon présente un risque supplémentaire pour les populations plus pauvre, due à la croissance potentielle du coût de résider dans ces quartiers.

En cherchant à améliorer l'efficacité dans les déplacements de leurs résidents, les villes se retrouvent devant un paradoxe social. En cherchant à aider l'ensemble de la population, mais aussi les plus vulnérables économiquement, les villes se trouvent à déplacer une partie d'entre elles, due à la hausse de la valeur immobilière. Améliorer le déplacement urbain, sans nuire aux plus pauvres continues à être un problème complexe qui, pour le moment ne connaît aucune solution réelle. Le transport collectif est quasi inévitable pour les

villes qui font face à une croissance continue de leur population. Dans cette optique, l'étude de solution inclusive, afin de limiter cette division des bénéfices selon les classes sociales gagneraient à être approfondis.

9 Bibliographies

Anderson, Michael L. (2013). «Subways, Strikes, and Slowdowns : The Impacts of Public Transit on Traffic Congestion», *National Bureau of Economic Research* , no. 18757, pp. 85-106

Bae, Christine et coll. (2003). «The Impact of Seoul's Subway Line 5 on Residential Property Values», *Journal of Political Economy* , vol. 10, no. 2, pp. 85-94

Baum-Snowa, Nathaniel et Kahn, Matthew E. (2000). «The effects of new public projects to expand urban rail transit», *Journal of Public Economics* , vol. 77, pp. 241-261

Baum-Snowa, Nathaniel et Kahn, Matthew E. (2005). «Effects of Urban Rail Transit Expansions : Evidence from Sixteen Cities, 1970–2000», *Brooking-Wharton papers on Urban Affairs* , pp. 147-206

Billings, Stephen B. (2011). «Estimating the value of a new transit option», *Regional Science and Urban Economics* , vol. 41, no. 6, pp. 525-536

Boulange, Claire et coll. (2017). «Examining associations between urban design attributes and transport mode choice for walking, cycling, public transport and private motor vehicle trips», *Journal of Transport Health* , vol. 6, pp. 155-166

Chang, Yi (2006). «Impact of Public Transit on Employment Status : Disaggregate Analysis of Houston, Texas», *Transportation Research Record* , vol. 1986, no. 1, pp. 137-144

Chen, Yihsu et Whalley, Alexander (2012). «Green Infrastructure : The Effects of Urban Rail Transit on Air Quality», *American Economic Journal : Economic Policy* , vol. 4, no. 1, pp. 58-97

Gibbons, Stephen et Machin, Stephen (2005). «Valuing rail access using transport innova-

tions», *Journal of Urban Economics* , vol. 57, no. 1, pp. 148-169

Gibbons, Stephen et Machin, Stephen (2011). «The Fundamental Law of Road Congestion : Evidence from US Cities», *The American Economic Review* , vol. 101, no. 6, pp. 2616-2652

Gonzalez-Navarro, Marco et Turner, Matthew A. (2018). «Subways and urban growth : Evidence from earth», *Journal of Urban Economics* , vol. 108, pp. 85-106

Haddad, Eduardo A. et al. (2006). «The underground economy : Tracking the higher-order economic impacts of the São Paulo Subway System», *Transportation Research Part A* , vol. 73, pp. 18-30

Kahn, Matthew E. (2007). «Gentrification Trends in New Transit-Oriented Communities : Evidence from 14 Cities That Expanded and Built Rail Transit Systems», *Real Estate Economics* , vol. 35, no. 2, pp. 155-182

Lutz, Byron F (2008). «The Connection Between House Price Appreciation and Property Tax Revenues», *National Tax Journal* , vol. 61, no. 3, pp. 555-572

Saiz, Albert (2010). «The Geographic Determinants of Housing Supply», *The Quarterly Journal of Economics* , vol. 125, no. 3, pp. 1253-1296

Sancheza, Thomas W. (1999). «The Connection Between Public Transit and Employment», *Journal of the American Planning Association* , vol. 65, no. 3, pp. 284-296

Stroebel, Johannes et Vavra, Joseph (2019). «House Prices, Local Demand, and Retail Prices», *Journal of Political Economy* , vol. 127, no. 3, pp. 1391-1436

Tsivanidis, John Nicholas (2018). *The Aggregate and Distributional Effects of Urban Transit Infrastructure : Evidence from Bogotá's TransMilenio*, [Thèse de doctorat], Illinois, The University of Chicago.

Winston, Clifford et Kahn, Langer (2006). «The Effect of Government Highway Spending on Road Users' Congestion Costs», *Journal of Urban Economics* , vol. 60, no. 3, pp. 463-483

Zheng, Siqi et Kahn, Matthew E. (2013). «China's bullet trains facilitate market integration and mitigate the cost of megacity growth», *PNAS* , vol. 110, no. 14, pp. E1248-E1253

10 Annexe - Table

Table 4 – Changement dans la proportion des groupes d'âge

	rayon de 1 km					rayon de 2 km				
	15 ans et moins	16 à 24 ans	25 à 54 ans	55 à 64 ans	65 ans et plus	15 ans et moins	16 à 24 ans	25 à 54 ans	55 à 64 ans	65 ans et plus
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Période −2	−0.002	−0.001	−0.002	0.0005	0.004**	0.000	0.000	−0.004**	0.001	0.002
	(0.003)	(0.002)	(0.003)	(0.002)	(0.002)	(0.000)	(0.002)	(0.002)	(0.001)	(0.001)
Période 0	−0.003	−0.004	0.005*	0.002	−0.00001	0.000	−0.001	0.002	0.001	−0.002
	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.000)	(0.002)	(0.002)	(0.001)	(0.001)
Période +1	−0.003	−0.007**	0.011***	−0.0003	−0.001	0.000	−0.003	0.005**	0.0004	−0.002
	(0.003)	(0.002)	(0.003)	(0.002)	(0.002)	(0.000)	(0.002)	(0.002)	(0.001)	(0.001)
Période +2	0.002	−0.012***	0.016***	−0.0003	−0.005*	0.000	−0.006**	0.007***	−0.0002	−0.004**
	(0.003)	(0.003)	(0.004)	(0.002)	(0.003)	(0.000)	(0.003)	(0.003)	(0.002)	(0.002)
Période +3	−0.001	−0.011***	0.015***	0.002	−0.005*	0.000	−0.004	0.008***	0.001	−0.005***
	(0.004)	(0.004)	(0.005)	(0.003)	(0.003)	(0.000)	(0.003)	(0.003)	(0.002)	(0.002)
Période +4	−0.004	−0.012***	0.021***	0.001	−0.006*	0.000	−0.006**	0.011***	0.001	−0.007***
	(0.004)	(0.004)	(0.005)	(0.004)	(0.003)	(0.000)	(0.003)	(0.003)	(0.002)	(0.002)

Notes : Cette table présente les estimations du modèle économétrique. Les colonnes (1) à (10) présentent les changements dans la proportion que représente chacun des groupes par rapport à la population des block group. Significativité : *p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01 .

Table 5 – Croissance de la population par niveau d'éducation

	rayon de 1 km				rayon de 2 km			
	sans diplôme		avec diplôme		sans diplôme		avec diplôme	
	prop	pop	prop	pop	prop	pop	prop	pop
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Période −2	0.007	−0.016	0.0004	−0.056*	−0.001	−0.014	0.001	0.001
	(0.006)	(0.014)	(0.003)	(0.034)	(0.002)	(0.009)	(0.002)	(0.002)
Période 0	−0.012**	−0.006	0.004	0.040	−0.002	−0.007	0.004**	−0.001
	(0.005)	(0.012)	(0.003)	(0.029)	(0.002)	(0.007)	(0.002)	(0.002)
Période +1	−0.014*	0.002	0.009**	0.078**	−0.003	−0.002	0.005*	−0.004
	(0.008)	(0.015)	(0.004)	(0.034)	(0.003)	(0.009)	(0.003)	(0.003)
Période +2	−0.008	0.007	0.010**	0.081**	−0.006*	−0.003	0.007**	−0.004
	(0.010)	(0.018)	(0.005)	(0.039)	(0.003)	(0.011)	(0.003)	(0.003)
Période +3	−0.017*	0.013	0.015***	0.104**	−0.008**	0.002	0.010***	−0.006
	(0.010)	(0.021)	(0.005)	(0.046)	(0.004)	(0.013)	(0.003)	(0.003)
Période +4	−0.028**	0.005	0.023***	0.144***	−0.014***	0.0001	0.016***	−0.005
	(0.011)	(0.024)	(0.006)	(0.047)	(0.004)	(0.014)	(0.004)	(0.004)

Notes : Cette table présente les estimations du modèle économétrique. Les colonnes (1), (3), (7) et (9) présentent les changements dans la proportion de diplômés et non diplômé universitaire dans la population de plus de 25 ans. Les colonnes (2), (4), (6) et (8) présentent la croissance en log du nombre de personnes dans les mêmes groupes. Significativité : *p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01 .

Table 6 – Estimation du changement dans le prix médian des logements et le revenu médian

	Rayon de 1 km			Rayon de 2 km		
	Loyer	Maison	Revenu	Loyer	Maison	Revenu
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Période -2	−0.005	−0.014	−0.009	−0.002	−0.012*	−0.002
	(0.011)	(0.011)	(0.011)	(0.007)	(0.007)	(0.007)
Période 0	0.017**	0.019**	0.024**	0.007	0.006	0.018***
	(0.009)	(0.009)	(0.010)	(0.006)	(0.006)	(0.007)
Période +1	0.017	0.003	0.028**	0.017**	0.004	0.019**
	(0.010)	(0.013)	(0.014)	(0.007)	(0.008)	(0.009)
Période +2	0.019*	0.025*	0.016	0.017**	0.029***	0.025**
	(0.010)	(0.014)	(0.016)	(0.008)	(0.009)	(0.010)
Période +3	0.038***	0.060***	0.044**	0.027***	0.050***	0.043***
	(0.012)	(0.016)	(0.018)	(0.008)	(0.010)	(0.012)
Période +4	0.051***	0.081***	0.050***	0.036***	0.069***	0.054***
	(0.012)	(0.017)	(0.019)	(0.009)	(0.010)	(0.013)

Notes : Cette table présente les estimations du modèle économétrique. Les colonnes (1) et (4) présentent les changements en log du prix médian des loyers. Les colonnes (2) et (5) présentent la croissance en log du médian des maisons. Les colonnes (3) et (6) présentent la croissance en log du revenu médian des ménages. Significativité : *p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01 .

Table 7 – Changement dans la proportion d'utilisation des modes de transport

	Rayon de 1 km			Rayon de 2 km		
	Métro	Autobus	Voiture	Métro	Autobus	Voiture
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Période −2	0.0009	0.001	−0.003	0.001	0.001	0.002
	(0.0008)	(0.003)	(0.004)	(0.001)	(0.002)	(0.003)
Période 0	0.004***	−0.003	0.001	0.004***	−0.002	0.002
	(0.001)	(0.003)	(0.004)	(0.001)	(0.002)	(0.003)
Période +1	0.009***	−0.011***	0.0001	0.009***	−0.007***	0.003
	(0.001)	(0.004)	(0.005)	(0.001)	(0.002)	(0.003)
Période +2	0.012***	−0.015***	−0.00004	0.012***	−0.011***	0.004
	(0.002)	(0.004)	(0.006)	(0.002)	(0.003)	(0.004)
Période +3	0.017***	−0.018***	−0.005	0.017***	−0.016***	0.003
	(0.002)	(0.005)	(0.006)	(0.002)	(0.003)	(0.004)
Période +4	0.021***	−0.022***	−0.006	0.021***	−0.017***	0.005
	(0.002)	(0.005)	(0.007)	(0.002)	(0.003)	(0.005)

Notes : Cette table présente les estimations du modèle économétrique. Il s'agit du mode de transport utilisé pour se rendre au travail. Les colonnes (1) et (4) représentent la proportion de personnes qui utilise le métro et les systèmes de transit léger sur rail. Significativité : *p<0.1 ; **p<0.05 ; ***p<0.01 .

Table 8 – Évolution du groupe traitement et contrôle pour Washington entre 2013 et 2018

	Silver Line		Washington		$\Delta_{SL} - \Delta_W$
	2013	2018	2013	2018	
Densité	0.37	0.41	0.18	0.18	0.04
Prop. avec diplôme univ.	0.71	0.78	0.40	0.42	0.05
loyer médian	7.22	7.47	7.02	7.24	0.03
Maison médiane	12.82	13.03	12.62	12.75	0.08
Prop. métro	0.05	0.11	0.02	0.02	0.06
Prop. bus	0.03	0.01	0.03	0.03	-0.02
Revenu médian	11.47	11.66	11.33	11.49	0.03
Taux d'emploie	0.70	0.70	0.65	0.65	0.00

Notes : Cette table présente l'évolution des moyennes pour le groupe de traitement et de contrôle. Silver line : Tract dans un rayon de 1 kilomètre. Washington : Tract de la région métropolitaine, excluant le groupe de traitement. $\Delta_{SL} - \Delta_W$: différence de croissance entre les tracts de la Silver Line et Washington.

Table 9 – Coût des projets d'expansion (en milliard de $US)

Ville	Année	Coût
Boston	2014	0.02
Dallas	2012	1.8
Denver	2013	0.7
Houston	2014	1.3
Los Angeles	2012	0.9
Miami	2012	0.5
New Jersey	2011	0.1
Pittsburg	2012	0.5
Sacramento	2012	0.04
Salt Lake City	2013	0.4
San Francisco	2011	0.1
Washington	2014	3
Total		**7.56**

Notes : Résumé du coût de construction et de l'année de mise en service de l'ensemble des projets inclus dans l'échantillon.