



Les impacts du transport en commun sur les constructions immobilières commerciales et résidentielles : le cas du métro de Montréal

Mémoire

Marie-Pier Champagne

Maîtrise en économie - avec mémoire
Maître ès arts (M.A.)

Québec, Canada

Résumé

Ce mémoire a pour objectif d'évaluer l'impact de l'extension de la ligne orange du métro de Montréal à Laval sur le développement immobilier. L'analyse empirique s'intéresse à l'effet des nouvelles stations de métro sur la localisation et la quantification des constructions commerciales et résidentielles, entre 1998 et 2017. L'hypothèse principale est que le nombre de nouvelles constructions commerciales est spatialement concentré autour des stations, laissant moins de place pour les nouvelles constructions résidentielles, qui se localisent en périphérie de cette zone. Pour tester cette hypothèse, une approche par appariement est choisie, dans laquelle le nombre de nouvelles constructions commerciales et résidentielles jouent le rôle des variables dépendantes. Une zone de 2 kilomètres autour des stations est divisée à l'aide d'un maillage hexagonal, où les hexagones représentent les entités individuelles. Afin de comparer l'effet sur les nouvelles constructions, une comparaison entre deux groupes, un susceptible d'être influencé par l'arrivée des nouvelles stations (traitement) et un autre supposé moins touché (contrôle), est effectuée à l'aide d'une approche incrémentale. Chacun des groupes est formé de zones basées sur la distance critique à la station la plus près. Cette distance varie entre 250 et 1 750 mètres. L'analyse décompose également les zones par période afin de vérifier la présence d'effets liés à la spéculation, l'anticipation et l'ajustement. Les principaux résultats confirment en grande partie l'hypothèse émise. Une plus grande concentration spatiale des nouveaux bâtiments commerciaux est notée dans un rayon d'au plus 750 mètres des stations et le développement de nouveaux immeubles résidentiels, quant à lui, est identifié entre 1 000 et 1 250 mètres. La hausse conjointe des nouvelles constructions résidentielles et commerciales à grande proximité des stations après la mise en service souligne également l'essor des quartiers mixtes, accueillant à la fois des activités résidentielles et commerciales.

Abstract

This master thesis aims to evaluate the impact of the extension of the orange line of the metro from Montreal to Laval on real estate development. The empirical analysis focuses on its impact on the location and quantification of commercial and residential constructions, between 1998 and 2017. The main hypothesis is that new commercial constructions will be spatially concentrated around the stations, leaving less room for new residential construction, which will be located just outside the commercial zone. To test this hypothesis, a pairing approach is chosen, in which the number of new commercial and residential constructions are the dependent variables. A 2 kilometers area around the stations is separated into a hexagonal mesh, where the hexagons represent the individual entities. In order to compare the effect of new constructions, a comparison between two groups, one likely to be influenced by the arrival of new stations (treatment) and another most likely less affected (control), is carried out with an incremental approach. Each of the groups is generated by zones based on the distance to the nearest station and a radius varying between 250 and 1 750 meters defines these zones. The analysis also divided the zones by period to identify the effects related to speculation, anticipation, and adjustment. The main results largely confirm the hypothesis. A greater spatial concentration of new commercial buildings is noted within a radius of, at most, 750 meters from the stations and the development of new residential buildings is noted between 1 000 and 1 250 meters. The joint increase in new residential and commercial construction near stations after the launch also underlines the rise of mixed neighbourhood, accommodating both residential and commercial activities.

Table des matières

Résumé	ii
Abstract.....	iii
Table des matières	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations	viii
Remerciements	ix
Introduction	1
Chapitre 1 – Revue de littérature.....	4
1.1 Les effets du transport en commun sur la demande immobilière	4
1.2 Les effets du transport en commun sur la vocation des terrains et l’offre immobilière	11
Chapitre 2 – Métro de Montréal	13
2.1 L’historique du métro de Montréal.....	13
2.2 Étude de cas - L’extension de la ligne orange	16
Chapitre 3 – Méthodologie.....	18
3.1 Variables dépendantes du modèle et laboratoire à l’étude.....	18
3.2 Approche par appariement.....	20
3.3 Définition des zones traitée et de contrôle.....	25
Chapitre 4 – Données	27
4.1 Rôle d’évaluation foncière.....	27
4.2 Variables explicatives du modèle et caractéristiques d’appariement	29
Chapitre 5 – Statistiques descriptives.....	32
Chapitre 6 – Résultats.....	37

6.1 Développement immobilier commercial	37
6.2 Développement immobilier résidentiel.....	39
6.3 Synthèse des résultats	42
Conclusion	43
Bibliographie	45
Annexe.....	49
Annexe 1. Représentations distinctes des unités d'évaluation	49
Annexe 2. Distribution de la statistique de test en fonction du nombre de voisins et de la distance critique (Constructions commerciales)	50
Annexe 3. Distribution de la statistique de test en fonction du nombre de voisins et de la distance critique (Constructions résidentielles)	57

Liste des figures

Figure 1 - Synthèse des impacts du transport en commun sur la demande immobilière	10
Figure 2 - Lignes et stations du métro de Montréal en 2016.....	14
Figure 3 - Évolution du métro de Montréal depuis son ouverture en 1966.....	15
Figure 4 -Maillage hexagonal de la zone à l'étude.....	19
Figure 5 - Évolution temporelle de l'extension de la ligne orange du métro à Laval	20
Figure 6 - Représentation des différents groupes de traitement et de contrôle, selon la distance critique sélectionnée	26
Figure 7 - Représentation des unités d'évaluation et du maillage hexagonal à l'étude.....	27
Figure 8 - Représentation du nombre de constructions par hexagone, en fonction de la période étudiée	33

Liste des tableaux

Tableau 1 - Catégorisation des secteurs d'activités selon leur code CUBF et SCIAN	29
Tableau 2 - Quantification de la taille des groupes de traitement et de contrôle en fonction de la distance critique utilisée.....	32
Tableau 3 - Différences entre le groupe traité et le groupe de contrôle pour chaque variable dépendante du modèle, en fonction de la distance critique sélectionnée	34
Tableau 4 - Différences entre le groupe traité et le groupe de contrôle pour les variables indépendantes (période de référence)	35
Tableau 5 - Effets moyens de l'extension du métro sur les constructions commerciales	38
Tableau 6 - Effets moyens de l'extension du métro sur les constructions résidentielles	41

Liste des abréviations

ATE	Effet causal moyen du traitement sur la population (<i>Average treatment effect</i>)
ATT	Effet causal moyen du traitement sur la population traitée (<i>Average treatment effect on the treated</i>)
CUBF	Code d'utilisation de biens fonds
DM	Distance de Mahalanobis
FIRE	Finance, Assurance et Immobilier (<i>Finance, Insurance and Real Estate</i>)
IHH	Indice d'Herfindahl-Hirschmann
KIBS	Knowledge intensive business service
MAMH	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation
PQ	Parti Québécois
QL	Quotient de localisation
SCIAN	Système de classification des industries de l'Amérique du Nord

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier mon directeur de mémoire, M. Philippe Barla, pour son aide, ses conseils et sa rigueur face à mon projet de mémoire. Je remercie aussi mon codirecteur de mémoire, M. Jean Dubé, pour son soutien, ses recommandations et sa disponibilité tout au long de mon processus de création et de rédaction. Leur implication soutenue envers mon projet de mémoire fut essentielle à son accomplissement.

J'aimerais finalement remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin au processus de création et de rédaction de ce mémoire. Un remerciement particulier à Christian pour son implication lors de la période de rédaction.

Introduction

Les infrastructures de transport permettent une meilleure connectivité entre les villes, les régions, et même à l'intérieur de ces dernières. Dans les grandes villes, les infrastructures autoroutières peinent à assurer la fluidité des déplacements. Les problèmes de congestion dans les métropoles due à la saturation du réseau routier sont de plus en plus fréquents (Higgins, 2018). Face à ce problème, le transport en commun est souvent présenté comme une alternative intéressante afin de diminuer l'utilisation de la voiture (surtout solo) et réduire les externalités négatives liées majoritairement à la congestion (Société de transport de Montréal, 2020).

En plus des problèmes de congestion, des principes de santé publique, de mobilité et d'étalement urbain peuvent justifier l'instauration d'une infrastructure de transport en commun. Au cours des dernières décennies, plusieurs métropoles ont investi dans des systèmes de transport collectif afin de connecter leur centre-ville aux banlieues par différents modes de transport, tels que le train léger, l'autobus ou le métro (Chatman et coll., 2016).

Les infrastructures de transport représentent généralement des projets d'envergure majeure en termes d'espace, d'entretien et de financement. Leur implantation doit être effectuée de manière optimale afin de développer des alternatives de transport efficaces et durables. C'est pourquoi de nombreuses études cherchent à évaluer les effets du transport sur l'environnement, l'étalement urbain et les agents économiques afin de mesurer les impacts liés à leur utilisation grandissante (Credit, 2019; 2018; Beaudoin et Lawell, 2018; Beckerich et coll., 2016; Chatman et coll., 2016; Beaudoin et coll., 2015; Bazin et coll., 2009).

L'analyse des impacts des infrastructures de transport en commun sur le développement économique permet une prise de décision plus éclairée de la part des décideurs publics, en fonction des caractéristiques économiques et démographiques respectives à leur territoire. Ainsi, la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport implique plusieurs effets quantifiables, d'où l'intérêt de les analyser plus en profondeur.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les impacts du transport en commun sur le développement immobilier. Plus précisément, le but est d'analyser les impacts de l'extension de la ligne orange du métro de Montréal, sur l'île de Laval, afin d'identifier les effets sur la

construction de nouveaux bâtiments commerciaux, dont la vocation principale est le commerce de gros et de détails, et résidentiels. L'hypothèse centrale de cette recherche est que l'ajout d'une infrastructure de transport en commun stimule le développement immobilier, commercial et résidentiel, et que cette stimulation est surtout concentrée spatialement autour des stations. De plus, l'effet sur les constructions commerciales devrait être concentré plus près des stations, repoussant l'effet sur l'immobilier résidentiel en marge du développement commercial.

Afin de valider cette hypothèse, une approche par appariement est effectuée dans un rayon de 2 kilomètres autour de l'extension du métro, pour trois périodes distinctes (annonce, construction et mise en service) entre 1998 et 2017. La zone est divisée à l'aide d'un maillage hexagonal, puis séparée en deux groupes (traitement et de contrôle) sur la base d'une approche incrémentale. Dans le but d'identifier la forme de la distribution des effets, la zone traitement est successivement définie par une distance critique qui varie entre 250 et 1 750 mètres. Les hexagones sont ensuite appariés en fonction des similitudes entre leurs caractéristiques, soit les variables explicatives du modèle, et de leur statut de traitement. Ensuite, l'effet moyen du traitement (ATE - *average treatment effect*) est calculé par période sur la base du nombre de nouvelles constructions. L'appariement utilise entre 1 et 4 hexagones voisins dans le but de vérifier la robustesse des résultats obtenus. Enfin, les tests de significativité sont effectués grâce à une approche par permutations, afin d'évaluer si la différence estimée entre l'hexagone observé et son (ou ses) contrefactuel(s) est significative.

Ce mémoire contribue à la littérature par l'analyse de la construction de nouveaux bâtiments. Il s'agit d'une valeur ajoutée à la littérature, puisque cette variable est rarement analysée de manière approfondie dans les études sur le sujet.

Les résultats obtenus suggèrent une concentration des constructions commerciales dans un rayon d'au plus 750 mètres pour les périodes de la construction et de la mise en service. Les constructions résidentielles, quant à elles, se localisent plus en périphérie, soit entre 1 000 et 1 250 mètres, mais uniquement pour les périodes de l'annonce et de la construction. Aussi, une augmentation conjointe des constructions commerciales et résidentielles est observée à proximité des stations (entre 250 et 500 mètres), après la mise en service de l'extension. En somme, le marché commercial semble réagir à l'ouverture du

service, alors que le marché résidentiel tend surtout à anticiper l'effet de la nouvelle infrastructure. Néanmoins, l'anticipation sur le marché commercial semble se matérialiser par l'achat de terrains et non par la construction, qui prend généralement place ultérieurement.

Ce mémoire se divise en six chapitres. Le premier chapitre est une revue de la littérature économique inhérente à cette recherche. Le second présente l'historique de développement du métro de Montréal. Le troisième chapitre décrit le modèle utilisé, alors que le chapitre suivant présente les données et les variables explicatives du modèle. Le cinquième chapitre présente quelques statistiques descriptives. Le sixième chapitre expose les résultats obtenus et discute des plus pertinents. Le mémoire conclut avec un résumé des résultats et leurs implications pour de futures recherches.

Chapitre 1 – Revue de littérature

Le développement immobilier représente les réactions de l'offre face aux variations de la demande sur le marché immobilier. L'instauration d'infrastructure de transport en commun agit comme un choc sur la demande immobilière, car elle affecte les décisions de localisation des entreprises (demande de propriétés commerciales) et des ménages (demande de propriétés résidentielles). Il est donc pertinent de s'intéresser aux effets des infrastructures de transport sur les entreprises et les ménages, dans l'optique de mieux comprendre comment le transport en commun affecte le développement immobilier.

La revue de littérature qui suit se divise en deux sections. La première présente les effets du transport en commun sur la demande immobilière. La seconde section présente l'effet des infrastructures de transport collectif sur la vocation des terrains et l'évolution de l'offre immobilière. Cette revue se limite aux impacts immobiliers des systèmes de métro et de trains légers et de banlieue.

1.1 Les effets du transport en commun sur la demande immobilière

Demande de propriétés commerciales

En théorie, les entreprises sélectionnent la localisation qui maximise leurs profits ou, par dualité, qui minimise leurs coûts. Les infrastructures de transport peuvent donc influencer la répartition spatiale des activités économiques en modifiant la taille potentielle du marché ou la part de marché des entreprises et en changeant la structure des coûts de déplacements des intrants et des extrants (Beckerich et coll., 2016; Bazin et coll., 2009).

Les infrastructures de transport peuvent avoir des effets opposés selon le type de transport visé (Melo et Graham, 2018). Par exemple, les résultats de Melo et Graham (2018) suggèrent d'une part que les autoroutes entraînent généralement un étalement des activités commerciales et d'autre part, que le transport en commun est surtout associé à la concentration spatiale des activités économiques, principalement dans le secteur tertiaire. Ainsi, le transport en commun entraîne généralement des économies d'agglomérations plus importantes, en comparaison aux réseaux de transport routier (Melo et Graham, 2018).

Ce phénomène de regroupement d'entreprises peut entraîner des économies d'agglomérations¹ qui modifient les incitatifs liés aux décisions de localisation des entreprises. Le partage du bassin de main-d'œuvre et de consommateurs, ainsi que les externalités de connaissances sont des exemples concrets d'économies d'agglomération.

Face aux phénomènes d'agglomération, le marché peut i) se spécialiser ou ii) se diversifier. La spécialisation du marché local est représentée par la localisation des entreprises semblables sous forme de groupes (*clusters*) et implique une augmentation de la compétitivité intrarégionale (Marshall, 1891). Cependant, même si les entreprises sont en compétition, les économies d'agglomération engendrée par leur convergence spatiale incitent les entreprises à se regrouper.

À l'inverse, certaines entreprises sont davantage attirées par un environnement plus diversifié. En d'autres termes, ces dernières préfèrent s'entourer d'entreprises qui leur sont complémentaires, plutôt que semblables (Jacobs, 1969). Par exemple, elles vont choisir de se spécialiser dans une étape de chaîne de production, car elles disposent des connaissances, des expériences et des compétences nécessaires pour le faire. Ainsi, chacune d'entre elles produit des extrants différents, mais complémentaires (Malmberg et Maskell, 2002).

Empiriquement, Mejia-Dorantes et coll. (2012) se penchent sur les effets d'agglomération du transport en commun. Les auteurs analysent l'impact d'une ligne de métro à Madrid en Espagne sur la distribution spatiale des entreprises. Leurs résultats indiquent une hausse de l'activité économique à proximité du métro et une concentration spatiale des entreprises opérant dans le secteur des services. Les entreprises de restauration et du commerce de détail semblent être les plus touchés par ce phénomène de regroupement. Arzaghi et Henderson (2008) identifient aussi des effets d'agglomération sur les entreprises de publicité à Manhattan. Les résultats obtenus montrent que les économies d'agglomération découlent des relations entre les individus des différentes agences et se dissipent au-delà d'un demi-mile (environ 800 mètres). La nature informelle des connaissances limite généralement

¹ Chatman et Noland (2011) identifient les économies d'agglomération comme la baisse des coûts moyens de production associés à une hausse du niveau de production à l'intérieur d'une région spécifique. Elles sont définies ainsi puisqu'elles découlent des interactions entre les agents économiques et sont facilitées par la proximité spatiale.

l'étendue de ces effets à une distance de marche (moins de 800 mètres - Chatman et Noland, 2011).

La concentration spatiale des activités économiques semblables affecte principalement les entreprises de services qui nécessitent une accumulation de connaissances pour opérer, telles que les *knowledge intensive business services* (KIBS) ou les entreprises de recherche et développement (Credit, 2018). Silicon Valley est souvent cité en exemple afin d'illustrer ce phénomène d'agglomération (Weisbrod et coll., 2014).

De plus, la littérature sur le sujet indique que l'accessibilité à une infrastructure de transport en commun s'avère bénéfique pour les secteurs de la restauration et de l'hébergement (Credit, 2019), du commerce de détail (Credit, 2019; Mejia-Dorantes et coll., 2012), des connaissances (Credit, 2019; 2018) et de la finance et de l'assurance (Chatman et coll., 2016).

Credit (2019) s'intéresse à l'effet des trains légers, de banlieue et lourds, sur la création (ou relocalisation) d'entreprises dans cinq grandes métropoles américaines (Boston, Philadelphie, Cleveland, San José et Austin). À l'aide de deux modèles distincts (modèle spatial de Durbin et de Poisson), il étudie les effets des différents modes de transport ferroviaire sur la création de nouvelles entreprises. Il décortique aussi ces effets par industrie. Ses résultats indiquent un effet positif et significatif sur la création d'entreprises dans le secteur de l'hébergement et de la restauration dans 45 % des cas étudiés. Enfin, Credit (2019) tire les mêmes conclusions pour le secteur du commerce de détail.

Dans un même ordre d'idée, Mejia-Dorantes et coll. (2012) analysent les impacts du Métrosur sur la localisation des entreprises, grâce à un modèle logit multinomial. Leurs résultats montrent que les entreprises de commerce de détail ont tendance à se concentrer spatialement autour des stations et que ce secteur d'activité recense le taux de concentration le plus élevé.

Pour le secteur des connaissances, Credit (2019) indique que les entreprises de connaissances (*knowledge intensive business services* - KIBS) représentent le troisième secteur le plus commun associé aux trains de banlieue et légers, derrière les secteurs de l'hébergement et de la restauration et du commerce de détail. En effet, ses résultats identifient

un effet positif et significatif sur la création de KIBS dans 41 % des cas étudiés. De plus, dans son étude sur le train léger de Phoenix, Credit (2018) montre que la proximité au train léger augmente la création de KIBS. Plus précisément, l'auteur suggère que la mise en service du train léger entraîne une hausse d'environ 88 % du nombre d'ouvertures d'entreprises dans le secteur des connaissances.

Enfin, Chatman et coll. (2016) s'intéresse aux impacts du train léger à Portland sur la création de nouvelles entreprises². Les auteurs trouvent des effets significatifs pour tous les secteurs et des implications particulièrement importantes pour le secteur de la finance et de l'assurance. À Portland, les effets sont majoritairement identifiés dans un rayon de moins d'un demi-mile (800 mètres). Pour ce rayon, les nouvelles ouvertures sont jusqu'à 4 fois plus importantes dans le secteur de la finance et de l'assurance, en comparaison aux autres secteurs d'activités.

Ainsi, les entreprises de services ont avantage à se localiser près des infrastructures de transport en commun, puisque le fonctionnement de celles-ci repose sur les contacts humains et aux relations interpersonnelles. Ces entreprises ont aussi intérêt à faciliter le déplacement de leurs travailleurs et les contacts avec les consommateurs.

Par ailleurs, les externalités positives spécifiques aux transports en commun ont pour effet d'inciter les entreprises, majoritairement du secteur tertiaire, à converger autour des stations, entraînant également une augmentation des valeurs immobilières et des loyers.

En effet, Cervero et Duncan (2002) identifient une relation statistique significative entre la valeur des terrains et le transport collectif (trains légers et de banlieue) dans le comté de Santa Clara en Californie. Leurs résultats illustrent une augmentation des valeurs des terrains de 4 dollars et 25 dollars par pied carré pour les infrastructures de trains légers et de banlieue, respectivement. L'effet observé est limité à un rayon d'un quart de mile (environ 400 mètres) autour des stations. Par ailleurs, Higgins et Kanaroglou (2016) suggèrent un effet sur les prix plus concentrés pour les loyers commerciaux et industriels que pour les

² Les auteurs étudient aussi les effets du train léger à Dallas, néanmoins les résultats obtenus (par industrie) ne sont pas significatifs au-delà d'un quart de mile pour l'ensemble des secteurs.

résidences unifamiliales. Les auteurs identifient aussi que les effets sur les prix sont généralement concentrés spatialement et ne s'étendent pas au-delà d'un rayon de 800 mètres.

Demande de propriétés résidentielles

Sous la contrainte de leur revenu, les ménages effectuent un choix de localisation sur la base d'un arbitrage entre les coûts immobiliers (qui diminuent avec la distance aux points d'intérêt) et les coûts de déplacement (qui augmentent avec la distance aux points d'intérêt). Évidemment, les infrastructures de transport peuvent affecter les choix de localisation des ménages, puisqu'elles ont une influence non négligeable sur le temps de déplacement.

Une meilleure accessibilité se manifeste notamment par une diminution du temps et des coûts de déplacement, pour les services de transport collectif (Devaux et coll., 2017). Les ménages peuvent donc profiter de plus d'opportunités de déplacements, d'emplois et de consommation en s'installant à proximité des infrastructures de transport (Schuetz, 2015; Glaeser et coll., 2008).

Par ailleurs, le transport en commun permet d'augmenter l'étendue spatiale des recherches d'emplois des ménages, puisque les individus sont plus enclins à parcourir de longues distances si les coûts et/ou le temps de transport diminuent. Une baisse des coûts de transport peut également inciter un individu à intégrer le marché du travail, car une diminution des coûts associés à la recherche d'emploi a un impact sur les salaires de réserve³ des travailleurs (Chatman et Noland, 2011).

Les externalités positives liées à l'instauration du transport en commun se répercutent dans le marché immobilier, où les valeurs immobilières des résidences sont généralement tirées à la hausse. Le transport collectif représente donc une commodité locale supplémentaire pour les propriétés situées à proximité.

Mohammad et coll. (2013) proposent un survol de la littérature à l'aide d'une méta-analyse. Les auteurs analysent un total de 102 estimations (23 études) de l'effet des infrastructures de transport en commun (proximité des stations) sur la valeur immobilière des résidences. Les résultats indiquent une relation positive entre la proximité aux stations et les

³ Le salaire de réserve est défini comme le salaire le plus bas auquel un individu accepte de travailler. Sous ce salaire, l'individu n'intègre pas le marché du travail (Chatman et Noland, 2011).

valeurs des résidences. En d'autres termes, le transport en commun semble vraisemblablement avoir un effet positif sur les valeurs immobilières.

Par ailleurs, Kay et coll. (2014) identifient une augmentation des prix sur le marché immobilier new-yorkais, à proximité des stations de trains. Leurs résultats montrent que les valeurs résidentielles sont 2,7 à 5,0 % plus élevées dans un rayon d'un demi-mile (environ 800 mètres) des stations, en comparaison aux résidences situées dans un rayon allant d'un demi-mile à un mile. Li et Huang (2020), quant à eux, suggèrent que les valeurs résidentielles diminuent en moyenne de 1,3 % pour chaque 100 mètres de distance aux stations (rayon maximal de 800 mètres).

Li et Huang (2020) notent aussi qu'un environnement plus diversifié implique une plus grande probabilité que la valeur immobilière augmente. Ces conclusions vont de pair avec celles tirées de l'étude de Duncan (2011) menée à San Diego et de l'étude d'Atkinson-Palombo (2010) conduite à Phoenix.

L'effet du transport en commun sur les ménages est encore plus important lorsque la congestion routière est sévère. En effet, Higgins et coll. (2018) analysent les métropoles canadiennes et étudient l'effet de la congestion sur la satisfaction des individus à se déplacer en transport en commun. Leurs résultats illustrent que plus la congestion est importante, plus les individus apprécient se déplacer en transport collectif, puisque la congestion représente une source de stress pour les ménages.

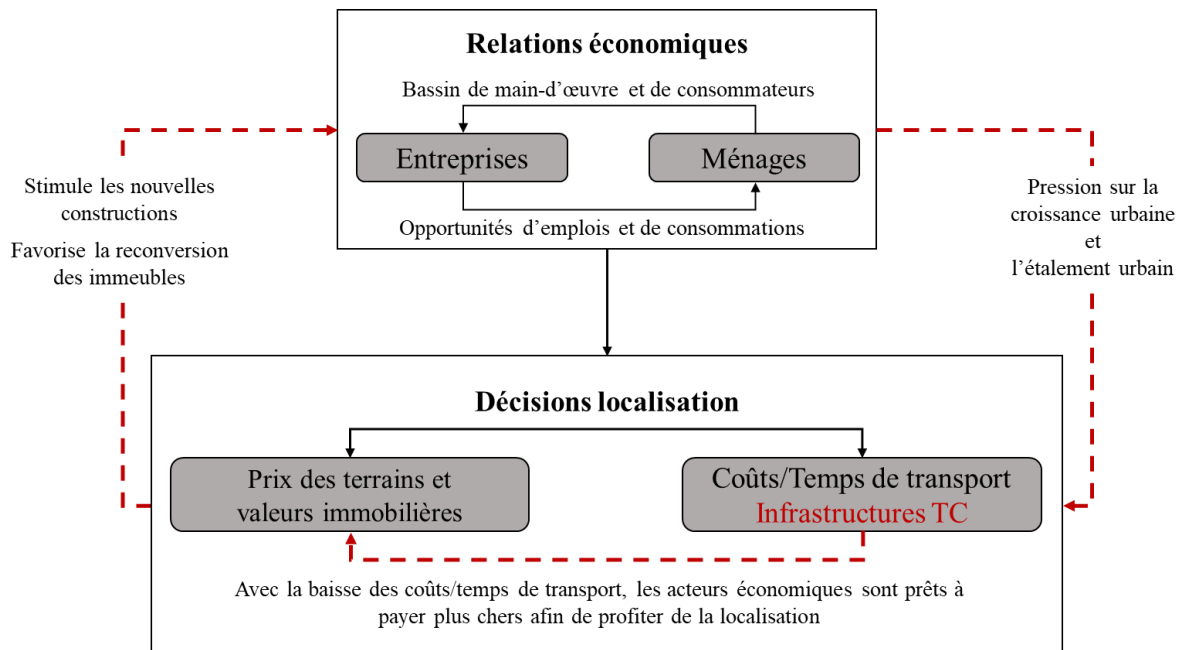
Enfin, la congestion routière affecte le bien-être des individus et peut entraîner une baisse des prix sur le marché immobilier. L'effet négatif sur les prix peut être engendré par la diminution de l'intérêt des ménages pour les propriétés situées dans des régions congestionnées. D'autres externalités négatives, telles que les impacts sur la santé, la pollution de l'air, sonore et visuelle peuvent aussi affecter à la baisse les valeurs immobilières (Higgins et coll., 2019).

Par exemple, la présence d'un aéroport ou d'une autoroute entraîne généralement ce type d'externalités négatives. Zheng et coll. (2020) évaluent les transactions résidentielles près de l'aéroport de Kai Tak à Hong Kong et montrent que les prix immobiliers sont plus faibles d'environ 25 % due à la pollution sonore. Allen et coll. (2015), quant à eux, étudient

l'effet d'une autoroute métropolitaine, situé à Orlando en Floride, sur les valeurs immobilières. Ils tentent d'étudier la balance entre l'accessibilité à une autoroute et les externalités négatives qui en découlent. Leurs résultats montrent que les prix des résidences adjacentes à l'autoroute et celles près des secteurs congestionnés chutent avec l'instauration de l'infrastructure routière. Cette conclusion se reflète aussi dans une ville comme Québec : Yao et coll. (2020) montrent que la proximité aux principaux axes routiers entraîne un effet négatif sur les valeurs résidentielles.

Sommairement, les décisions de localisation des acteurs économiques sont influencées par les relations économiques entre les ménages et les entreprises. Elles sont aussi basées sur un arbitrage entre les coûts de transport et les prix des terrains. L'instauration d'une infrastructure de transport collectif permet donc un nouvel arbitrage et affecte les décisions de localisation des ménages et des entreprises. La Figure 1 synthétise les principaux mécanismes de réaction et d'ajustement du marché immobilier, face à l'instauration d'une infrastructure de transport en commun (traits rouges – Figure 1).

Figure 1 - Synthèse des impacts du transport en commun sur la demande immobilière



1.2 Les effets du transport en commun sur la vocation des terrains et l'offre immobilière

À ce jour, la relation entre le transport collectif et la vocation des terrains reste très vague. La vocation des terrains (*land use*) n'est pas proprement étudiée et est majoritairement utilisée comme variable explicative, afin de caractériser l'environnement urbain. L'intérêt porté à l'évolution de l'offre immobilière, soit les nouvelles constructions, dans la littérature s'avère, également, très limité. En effet, plutôt que d'analyser les variations dans l'utilisation des terrains ou le développement immobilier, la littérature liée aux effets du transport en commun sur le marché immobilier se concentre généralement sur les demandeurs de propriétés, les loyers, ou encore les valeurs des propriétés. De ce fait, très peu de recherches s'intéressent spécifiquement à la construction de bâtiments et à leur vocation.

Actuellement, seule la recherche de Hurst et West (2014) s'intéresse aux effets du transport en commun sur la vocation des terrains. Ces auteurs utilisent une approche de type différence en différence, afin d'étudier les effets du train léger de Minneapolis au Minnesota. Ils s'intéressent à la vocation des parcelles de terrain et à la probabilité que les terrains vacants changent de vocation, en fonction de leur distance aux stations les plus proches. Leurs résultats suggèrent que l'instauration du train léger a des effets nuls sur les parcelles à vocation multifamiliale et commerciale situées à moins d'un demi-mile (environ 800 mètres) des stations, relativement à celles localisées à plus d'un demi-mile. Hurst et West (2014) indiquent aussi que la probabilité qu'une parcelle vacante change de vocation n'est pas significative, ce qui peut sous-entendre que la mise en service du train léger n'aurait pas eu d'effets sur les constructions de nouveaux bâtiments. Les auteurs concluent que le train léger n'est possiblement pas une condition suffisante, à court terme, pour stimuler le développement immobilier d'une région urbaine.

Sommairement, les études utilisent plusieurs indicateurs de développement économique dans le but de quantifier ou de qualifier les impacts associés au transport en commun. Ainsi, la littérature entourant la demande sur le marché immobilier est beaucoup plus complète que celle relative aux constructions immobilières (offre) et à la vocation des terrains (*land use*). L'étude des nouvelles constructions vient donc compléter la littérature entourant les infrastructures de transport en commun et représente une valeur ajoutée à ce

mémoire. Pour la suite de ce mémoire, l'impact du métro de Montréal sur les nouvelles constructions immobilières est étudié. D'ailleurs, cette infrastructure de transport en commun permet d'analyser l'évolution des nouvelles constructions et de comparer les tendances de développement immobilier en fonction de leur localisation relativement aux stations du métro. Ainsi, les opportunités fournies par la sélection de ce laboratoire et par la littérature sur le sujet guident les choix méthodologiques de ce mémoire.

Chapitre 2 – Métro de Montréal

Ce chapitre présente l’historique du métro de Montréal et détaille l’extension étudiée dans le cadre de ce mémoire.

2.1 L’historique du métro de Montréal

Les premières propositions pour l’instauration d’un métro de Montréal sont présentées dès 1902. Néanmoins, les guerres mondiales et la grande dépression repoussent l’arrivée du métro dans la métropole.

Au milieu des années 1900, la ville de Montréal connaît déjà des problèmes de congestion liés à l’essor de l’automobile qui est maintenant plus accessible pour la classe moyenne. Cette démocratisation du véhicule personnel a un effet négatif sur le transport collectif de l’époque (Gilbert et Baker, 2016). En réponse à la congestion grandissante et à l’arrivée d’évènement d’envergures, telles que l’Expo 67 et les Jeux olympiques, la ville de Montréal considère l’instauration d’un métro. De plus, la mise en service du premier métro canadien à Toronto en 1954 incite la ville de Montréal à se doter d’un métro dans le but de maintenir son statut de grande métropole canadienne (Gilbert et Baker, 2016).

Le premier tracé du métro est annoncé en octobre 1961. Le coût total de celui-ci est estimé à 214 millions de dollars et est assumé en totalité par la ville de Montréal. Ce tracé est constitué de 2 lignes, la ligne orange et la ligne verte, et totalise 24 stations. La ligne orange traverse l’île d’est en ouest, tandis que la ligne verte est orientée du sud vers le nord. Motivée par la tenue de l’Expo 67, une troisième ligne (jaune), financée par les arrondissements de Longueuil et Westmount, est ajoutée au tracé. La ligne jaune du métro de Montréal permet de connecter le centre-ville de Montréal à la ville de Longueuil située sur la rive sud du Fleuve Saint-Laurent (Gilbert et Baker, 2016).

Les lignes orange et verte sont mises en service en 1966, alors que la ligne jaune est mise en service en juin 1967, juste à temps pour l’Expo 67. Ainsi, en 1967, le métro de Montréal compte 3 lignes et 26 stations (Gilbert et Baker, 2016).

Une extension de la ligne verte vers l’est est réalisée en 1976 afin de subvenir la demande de transport anticipée par la venue des Jeux olympiques à Montréal. L’extension

vers l'ouest de cette ligne est inaugurée 2 ans plus tard. Dans la décennie qui suit, la ligne orange connaît 4 extensions et un total de 13 stations supplémentaires s'ajoutent au parcours de la ligne orange (Gilbert et Baker, 2016).

En 1986, une quatrième ligne de métro (ligne bleue) est construite en direction nord-est de l'île de Montréal. Elle compte 5 stations à l'origine. Jusqu'en 1988, l'expansion du métro de Montréal vise uniquement la ligne bleue. La construction de cette dernière a connu quelques ralentissements et s'est échelonnée sur 14 ans. Néanmoins, ces expansions ont permis l'ajout de 7 nouvelles stations. (Gilbert et Baker, 2016).

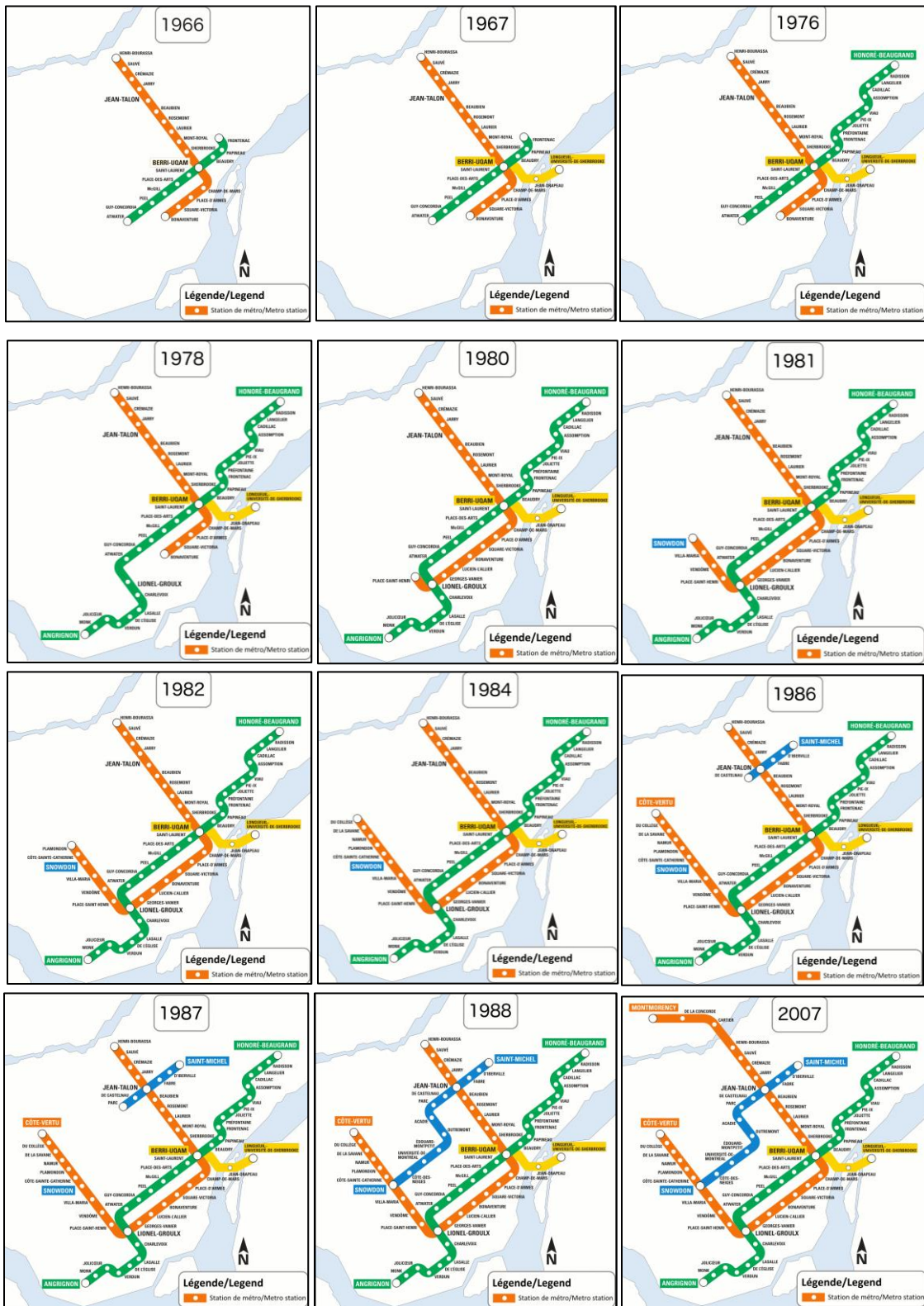
Enfin, en 2007, le métro de Montréal connaît sa dernière extension avec l'ajout de 3 nouvelles stations sur la ligne orange. Ces stations permettent maintenant de connecter la ville de Laval à l'île de Montréal (Gilbert et Baker, 2016). À ce jour, le métro de Montréal compte 4 lignes et 68 stations. En 2018, les lignes du métro de Montréal couvrent un total de 71 kilomètres et enregistrent un total de 383 millions de passages annuels (Gilbert et Baker, 2016).

Figure 2 - Lignes et stations du métro de Montréal en 2016



Source : Wikipédia, Métro de Montréal (2020).

Figure 3 - Évolution du métro de Montréal depuis son ouverture en 1966



Source : Wikipédia, Métro de Montréal (2020).

2.2 Étude de cas - L'extension de la ligne orange

Le prolongement de la ligne orange du métro de Montréal jusqu'à la ville de Laval est initialement un projet de 179 millions de dollars. Cependant, en 2001, deux stations supplémentaires sont ajoutées au projet d'extension augmentant les coûts estimés à 379 millions de dollars (Gilbert et Baker, 2016). Les coûts finaux s'élèveront ultimement à environ 745 millions de dollars (Enid, 2007).

En 1998, le Parti Québécois (PQ), alors le gouvernement en place, annonce un projet d'extension de la ligne orange. Cette extension s'étend sur un peu plus de 5 kilomètres. Il s'agit de la première ligne de métro à traverser la rivière des Prairies qui sépare l'île de Montréal de la ville de Laval⁴. Située en banlieue au nord de Montréal, la ville (et l'île) de Laval recensait 423 000 habitants en 2016, soit près de 25 % de la population urbaine de la grande région de Montréal (Undata, 2016). De plus, 53 % de la population lavalloise travaille sur l'île de Montréal et 82 % de ces travailleurs opèrent dans le domaine des services (Devaux et coll., 2017). Ainsi, cette ville représente un bassin de main-d'œuvre et de consommateurs important, d'où l'intérêt de faciliter l'accessibilité au centre-ville de la métropole.

En 1998, le PQ annonce simultanément un projet d'extension d'une station sur la ligne orange et de 5 stations sur la ligne bleue. Néanmoins, faute de financement, seule l'extension de la ligne orange se concrétise et deux stations supplémentaires s'ajoutent au projet (Devaux et coll., 2017).

En 2002, la construction des stations supplémentaires de la ligne orange commence. Les travaux sont achevés en 2007 et l'extension est officiellement mise en service en avril de cette même année. Le prolongement a pour objectif de réduire la congestion sur les routes, en plus de prendre part à une approche de développement durable (Devaux et coll., 2017).

Station Cartier

La station Cartier est la première station sur la rive nord de la rivière des Prairies et elle est la plus proche du centre-ville de Montréal. Cette station dispose de plusieurs installations afin de faciliter les déplacements intermodaux, tels que des parcours d'autobus

⁴ Se référer aux Figure 2 et 3.

et 465 espaces de stationnements (Devaux et coll., 2017). En 2015, la station Cartier enregistrait environ 3 millions de passages annuels (Messier et Harvey, 2016).

Station de la Concorde

La seconde station est De la Concorde et est desservie par le train de banlieue. Ce croisement intermodal est son principal attrait puisqu'elle agit à titre de point de correspondance pour les usagers du train de banlieue. Cette station recense environ 1,375 million de passages annuels en 2015 (Messier et Harvey, 2016). Ainsi, il s'agit de la station la moins fréquentée parmi les trois stations lavalloises. En 2011, elle figurait également parmi les cinq stations les moins fréquentées de tout le métro de Montréal (Gelper, 2012).

Station Montmorency

Le terminus de la ligne orange est la station Montmorency. Tout comme la station Cartier, elle dispose d'installations intermodales telles que 1 357 espaces de stationnement et dessert plusieurs parcours d'autobus. L'environnement autour de la station Montmorency est différent des autres stations. L'activité commerciale est plus présente dans les immeubles avoisinants (Devaux et coll., 2017). De plus, cette station se situe à même le campus de l'Université de Montréal à Laval et le cégep Montmorency est situé à proximité de cette station. Cette destination plus commerciale se reflète dans le nombre de passages enregistrés qui est de plus de 4,8 millions en 2015 (Messier et Harvey, 2016).

Pour toutes les stations, les modes de transport alternatifs étaient présents avant l'instauration de l'extension. Ainsi, la décision de localisation des stations n'est pas le fruit du hasard, elle est plutôt liée aux décisions historiques de localisation du transport en commun. Ceci limite en grande partie le biais d'endogénéité qui peut résulter lorsque la localisation des stations est influencée par des forces du marché (pressions d'entreprises ou de citoyens).

Chapitre 3 – Méthodologie

3.1 Variables dépendantes du modèle et laboratoire à l'étude

Afin d'étudier l'impact de l'arrivée du métro sur l'île de Laval, ce mémoire propose d'étudier l'effet sur le nombre de nouvelles constructions selon différentes périodes. Ainsi, les variables dépendantes sont le nombre de nouvelles constructions commerciales et résidentielles comptabilisé à l'intérieur d'un hexagone donné, pour la période à l'étude. Les constructions commerciales font référence aux bâtiments dont la vocation principale est le commerce de gros et de détails⁵. La décision d'analyser uniquement les bâtiments de commerce (de gros et de détail) découle de la littérature, puisqu'il s'agit d'un des secteurs les plus affectés par le transport en commun.

Une zone tampon de 2 kilomètres de rayon est tracée autour des stations Cartier, de la Concorde et Montmorency afin de définir l'espace étudié. Cette zone est ensuite divisée en un maillage de 683 hexagones de 100 mètres de rayon (Figure 4) qui constituent les unités d'analyses pour la modélisation de l'approche par appariement.

De plus, la forme de la zone étudiée est affectée par la rivière qui sépare physiquement l'île de Montréal de la ville de Laval. Puisque l'infrastructure de transport ne devrait pas avoir d'effet sur le développement immobilier au-delà de l'île de Laval, les hexagones situés sur l'île de Montréal, à moins de 2 kilomètres des nouvelles stations sont retirés de l'inventaire final.

⁵ Pour la suite de cette section, les constructions ayant pour vocation le commerce de gros ou de détail seront dénoté comme les constructions commerciales afin d'alléger l'écriture.

Figure 4 -Maillage hexagonal de la zone à l'étude



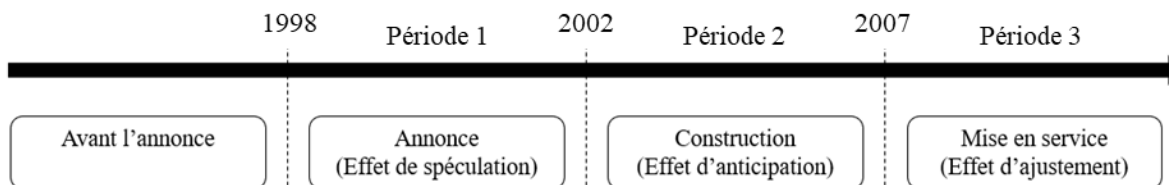
Chaque hexagone rapporte le nombre de nouvelles constructions (variable dépendante) et doit être apparié en fonction de ses caractéristiques observables. Ces dernières sont représentées par les variables explicatives de notre modèle (Caliendo et Kopeinig, 2008). Si un hexagone ne contient aucun bâtiment et ne recense aucune nouvelle construction durant toutes les périodes étudiées, l'hexagone est considéré comme un « faux zéro » et exclu de l'analyse. Ces cas représentent des zones où le développement immobilier n'est pas possible, par exemple, un croisement d'autoroute.

Enfin, pour les impacts du métro de Montréal sur les nouvelles constructions, deux variables dépendantes sont retenues : i) le nombre de nouvelles constructions commerciales; et ii) le nombre de nouvelles constructions résidentielles. Les nouvelles constructions sont isolées pour trois périodes (Figure 5), soit celle de l'annonce (1998-2002), de la construction (2002-2007) et de la mise en service (2007-2017)⁶. L'analyse par période permet de

⁶ L'analyse des variables dépendantes s'effectuent par période. Ainsi seuls les bâtiments (commerciaux ou résidentiels) ayant été construits durant la période étudiée sont comptabilisés.

considérer les effets de spéculation, d'anticipation et d'ajustement à la suite de la mise en service du métro.

Figure 5 - Évolution temporelle de l'extension de la ligne orange du métro à Laval



Source : Devaux et coll. (2017)

L'hypothèse centrale est que le nombre de constructions commerciales devrait principalement être stimulé à proximité des stations, laissant moins de place pour les nouvelles constructions résidentielles, qui se localiseront en périphérie de la zone commerciale. Ainsi, l'effet positif sur le nombre de constructions commerciales devrait être noté à courte distance des stations, alors que l'effet positif sur les constructions résidentielles devrait être identifié dans la zone contiguë, soit à proximité des stations, mais légèrement en retrait relativement aux constructions commerciales.

3.2 Approche par appariement

L'objectif de l'approche par appariement est d'isoler l'effet de l'arrivée du métro sur la dynamique de construction. Cette approche propose de comparer le nombre de nouvelles constructions (commerciales ou résidentielles) dans un hexagone i , selon son statut D et la période étudiée t .

Afin d'étudier les effets du métro, les hexagones sont divisés en deux groupes, en fonction de la distance à la station la plus proche, soit le groupe traité ($D=1$) et le groupe de contrôle ($D=0$). La différence entre les deux groupes peut être calculée de deux manières distinctes, soit pour l'ensemble de la population ou seulement pour les observations traitées.

D'une part, l'ATE représente l'effet causal moyen du traitement sur la population (*average treatment effect* – Équation 1). L'ATE s'intéresse à la différence entre la variable d'intérêt si l'observation est traitée ($D=1$) et la variable d'intérêt si cette même observation n'est pas traitée ($D=0$). L'ATE calcule l'espérance de cette différence pour toute la population étudiée (Caliendo et Kopeinig, 2008; Abadie et coll., 2004).

$$ATE = E[y_{it,D=1} - y_{it,D=0}] \quad (1)$$

Où $y_{it,D=1}$ représente le nombre de nouvelles constructions à la période t , dans l'hexagone i , pour le groupe traité ($D=1$) et $y_{it,D=0}$ représente le nombre de nouvelles constructions à la période t , dans l'hexagone i , pour le groupe contrôle ($D=0$).

D'autre part, l'ATT est l'effet causal moyen sur les entités traitées (*average treatment effect on the treated* – Équation 2). Tout comme l'ATE, l'ATT calcule la différence entre la variable d'intérêt si l'observation est traitée ($D=1$) et si elle est non-traitée ($D=0$). Cependant, l'ATT évalue l'effet moyen uniquement pour la population traitée (Caliendo et Kopeinig, 2008; Abadie et coll., 2004). Les variables utilisées dans l'équation 2 sont les mêmes que celles définies pour l'équation 1.

$$ATT = E[y_{it,D=1} - y_{it,D=0} | D = 1] \quad (2)$$

La difficulté des estimations vient du fait qu'une observation donnée est observée pour un seul statut, traité ou de contrôle. En d'autres termes, la valeur de la variable d'intérêt n'est pas connue pour les deux groupes, de manière simultanée. L'approche par appariement permet de remédier à cette difficulté.

L'approche par appariement consiste à associer une observation du groupe traité à une (ou plusieurs) observation(s) du groupe de contrôle, et vice-versa, afin de construire le contrefactuel (Abadie et coll., 2004). L'identification des contrefactuels s'effectue sur la base des caractéristiques observables (Belleau-Arsenault et Dubé, 2019). La moyenne des observations similaires non-traitées agit à titre de comparatif pour les observations traitées ($\hat{y}_{it,D=0|D=1} = y_{it,D=0|D=0}|X$), alors que la moyenne des observations traitées similaires aux observations de contrôle est utilisée comme contrefactuel pour ceux non-traités ($\hat{y}_{it,D=1|D=0} = y_{it,D=1|D=1}|X$) (Abadie et coll., 2004).

La sélection des contrefactuels, ou voisins, peut s'effectuer en fonction de différentes approches méthodologiques et selon divers critères de sélection (Abadie et Imbens, 2011; 2006; Caliendo et Kopeinig, 2008; Abadie et coll., 2004). Dans le cadre de ce mémoire, une méthode d'appariement par plus proche voisin (*nearest-neighbor*) reposant sur une estimation de score de propension est sélectionnée. L'appariement par plus proche voisin est

une application basée sur la proximité entre les unités traitées et non-traitées, en fonction des différentes variables explicatives du modèle $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ (Abadie et Imbens, 2011).

Afin de quantifier la proximité entre les voisins, la distance de Mahalanobis (DM) est utilisée. Cette dernière identifie les unités les plus « proches », en termes de similitudes dans les caractéristiques observées, si l'exposition au traitement n'est pas le même (Abadie et coll., 2004). Mathématiquement, la DM entre deux observations i et j est calculée sur la base de leurs variables observables, x_i et x_j et est définie comme suit (Stata, 2020) :

$$\|X_i - X_j\|_F = \left\{ (X_i - X_j)' F^{-1} (X_i - X_j) \right\}^{1/2} \quad (3)$$

où $X_i = \{X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}\}$ est un vecteur regroupant les K ($k = 1, \dots, K$) variables explicatives du modèle et l'opérateur $\|\cdot\|$ est la norme vectorielle entre les K caractéristiques observables des observations i et j . Enfin, la matrice F est définie positive, symétrique et prend la forme suivante (Stata, 2020) :

$$F = \frac{(X_i - \bar{X}' \iota_{N_t})' W (X_i - \bar{X}' \iota_{N_t})}{\sum_i^n w_i - 1} \quad (4)$$

Où w_i est un vecteur de poids accordé en fonction de la fréquence de l'observation i , W est une matrice carrée, de taille $(N_t \times N_t)$ où N_t est la taille de l'échantillon pour la période t , dont la diagonale est composée des valeurs w_i , ι_{N_t} est un vecteur de uns, de dimension $(N_t \times 1)$, et \bar{X} représente la moyenne, pondérée par w_i , des n observations (Stata, 2020) :

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n w_i x_i}{\sum_i^n w_i} \quad (5)$$

La DM sert uniquement à identifier les similitudes entre les observations. En effet, le nombre de voisins est décidé au préalable, puis la distance aux voisins est mesurée afin d'identifier les observations j similaires à l'observation i . Le nombre de voisins sélectionnés ne peut pas être nul et doit être inférieur au nombre d'entités traitées ($N_{t,D=1}$) ou non-traitées ($N_{t,D=0}$). En d'autres termes, le choix du nombre de voisins peut varier entre 1 et $\min(N_{t,D=1}; N_{t,D=0})$ (Belleau-Arsenault et Dubé, 2019; Abadie et coll., 2004). Le nombre de voisins doit être assez grand pour éviter un biais, mais assez faible pour éviter un écart

trop grand entre les observations et leurs contrefactuels (*caliper*). Pour ce mémoire, le nombre de voisins varie de 1 à 4, afin de tester la robustesse du modèle.

Le *caliper* (c) est la norme vectorielle maximale pour considérer une observation comme un voisin (équation 6). Au-delà de cette valeur, les observations sont jugées trop différentes pour être appariées entre eux. L'imposition d'un *caliper* évite les « mauvais » jumelages et assure une meilleure qualité d'appariement (Caliendo et Kopeinig, 2008).

$$\|X_i - X_{j_m}\|_F \leq c \quad (6)$$

Une fois la sélection des voisins complétée, les contrefactuels sont créés en effectuant la moyenne de chaque ensemble de voisins (équation 7). Ces contrefactuels sont propres à chaque entité i (Caliendo et Kopeinig, 2008; Abadie et coll., 2004).

$$\hat{y}_{it}(D) = \begin{cases} y_{it} & \text{si } D_{it} = D \\ \frac{1}{m_i} \sum_{j_m \in \Omega_m^x(i)} y_{j_mt} & \text{si } D_{it} = 1 - D \end{cases} \quad (7)$$

Enfin, en cas de similarité parfaite ($X_i = X_j$), le nombre de voisins retenus peut être supérieur au nombre fixé préalablement. En effet, si plusieurs observations j se trouvent à la même distance de l'observation i , en termes de similitudes, ils sont tous comptabilisés en tant que voisins (Abadie et coll., 2004).

Mathématiquement, la norme vectorielle entre l'observation i et l'observation j_m contenu dans l'ensemble $\Omega_m^x(i)$ doit être inférieur à toutes autres observations l qui ne sont pas compris dans cet ensemble (équation 8 - Stata, 2020).

$$\Omega_m^x(i) = \{j_1, j_2, \dots, j_m \mid D_{j_k} = D_i = 1 - D_i, \|x_i - x_{j_k}\|_F < \|x_i - x_l\|_F, l \neq j_k\} \quad (8)$$

Où j_m fait référence au « $m^{\text{ième}}$ » voisin et m est le nombre de voisins (contrefactuel) apparié à l'observation i .

L'application de cette approche nécessite le respect de trois hypothèses. Premièrement, ce modèle repose sur une hypothèse d'exogénéité qui stipule que le traitement doit être administré de façon aléatoire. La seconde hypothèse concerne l'indépendance conditionnelle des variables observables. Elle stipule que toutes les observations ayant les

mêmes caractéristiques (variables explicatives) devraient réagir de la même façon au traitement. En d'autres termes, elles disposent des mêmes $y_{it,D=1}$ et $y_{it,D=0}$, et ce, indépendamment du choix du traitement. L'hypothèse finale repose sur la définition des groupes (traitement et contrôle). Il doit exister au moins un contrefactuel semblable en plusieurs points pour chaque observation (Caliendo et Kopeinig, 2008).

Afin de tester la significativité de la différence estimée, des tests de permutation sont effectués (Heß, 2017; Anselin, 1995). Ce test découle d'une approche basée sur l'inférence randomisée, issue d'une permutation aléatoire du statut de traitement. La redistribution aléatoire du traitement permet de produire la distribution d'une statistique de test, sous l'hypothèse nulle, selon laquelle le traitement n'a aucun effet sur la variable d'intérêt (équation 9).

$$\begin{aligned}
 H_0: \quad & y_{it,D=1} = y_{it,D=0} \\
 H_1: \quad & y_{it,D=1} \neq y_{it,D=0}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Où $y_{it,D=1}$ et $y_{it,D=0}$ représentent respectivement la variable d'intérêt lorsque l'observation reçoit le traitement ($D = 1$) ou non ($D = 0$). Le but de l'approche par permutations est de vérifier que les effets associés au traitement sont différents du hasard.

Grâce aux méthodes de Monte-Carlo, les permutations aléatoires permettent d'obtenir, de manière numérique, la distribution de l'effet estimé sur la base du hasard. En comparant la statistique obtenue sur la base des données observées, à la distribution obtenue, il est possible d'établir une pseudo *p-value* (Heß, 2017). En pratique, l'ensemble des redistributions aléatoires peut être énorme, il est donc suggéré de répliquer 999 valeurs de la statistique d'intérêt (ATT ou ATE - Heß, 2017). La redistribution aléatoire du traitement a aussi pour but d'éliminer les effets non-observés qui seraient faussement attribués au traitement (Belleau-Arsenault et Dubé, 2019).

Enfin, un avantage du test de permutation est que la validité de l'inférence est indépendante de la taille de l'échantillon ou encore de la légitimité du modèle choisi (Heß, 2017).

3.3 Définition des zones traitée et de contrôle

En pratique, le centroïde des hexagones est considéré comme point de référence afin d'identifier le groupe auquel il appartient. La distance euclidienne est utilisée afin d'identifier la station la plus proche, $d_i^{station}$. Ensuite, les groupes sont définis selon différentes distances critiques, d_c (équation 10). Un hexagone est considéré dans le groupe traitement ($D = 1$) si la distance à la station la plus près est inférieure ou égale à la distance critique, et de contrôle ($D = 0$) autrement.

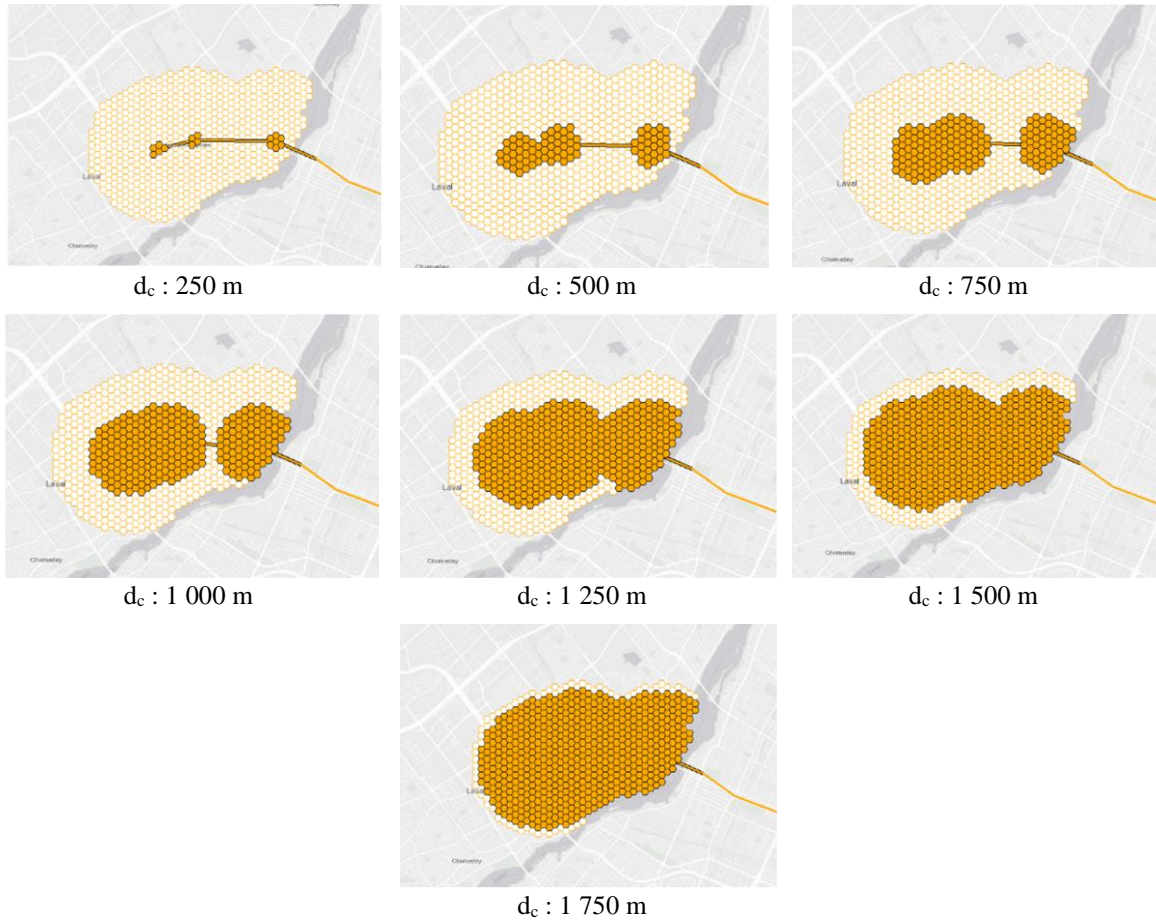
$$D = \begin{cases} 1 & \text{si } d_i^{station} \leq d_c \\ 0 & \text{autrement} \end{cases} \quad (10)$$

Credit (2018) met de l'avant l'idée selon laquelle les effets des infrastructures de transport ont une portée relativement concentrée dans l'espace, allant rarement au-delà d'un kilomètre. Il émet aussi l'idée que l'environnement autour des stations devrait être relativement comparable avant l'instauration du réseau de transport, et ce, sur la totalité de l'espace étudié.⁷ Ainsi, le groupe de traitement inclut les hexagones situés dans une zone à proximité des stations, alors que le groupe de contrôle recense les hexagones situés dans la zone tampon, mais à l'extérieur de la zone de traitement.

La littérature n'a toujours pas identifié de rayon optimal pour définir le groupe de traitement. Néanmoins, Higgins et Kanaroglou (2016) suggèrent que l'effet sur les prix est généralement concentré dans un rayon de 800 mètres pour les résidences unifamiliales, mais que cet effet est nettement plus concentré pour les loyers commerciaux et industriels. Afin de vérifier la robustesse des résultats et des conclusions, l'appariement est effectué en fonction de différentes distances critiques. Ces distances sont utilisées pour la création des zones de traitement et par complément, des zones de contrôle (Figure 6).

⁷ Cet argument vient confirmer l'hypothèse 1 (exogénéité), selon laquelle les hexagones sont traités de manière aléatoire. Ainsi, la localisation de l'hexagone n'a pas d'influence sur l'exposition au traitement (Credit, 2018).

Figure 6 - Représentation des différents groupes de traitement et de contrôle en fonction de la distance critique sélectionnée



Légende : Les zones foncées représentent les groupes de traitement et leurs tailles varient en fonction de la distance critique (d_c) choisie. Les zones restantes, en pâle, sont les groupes de contrôle.

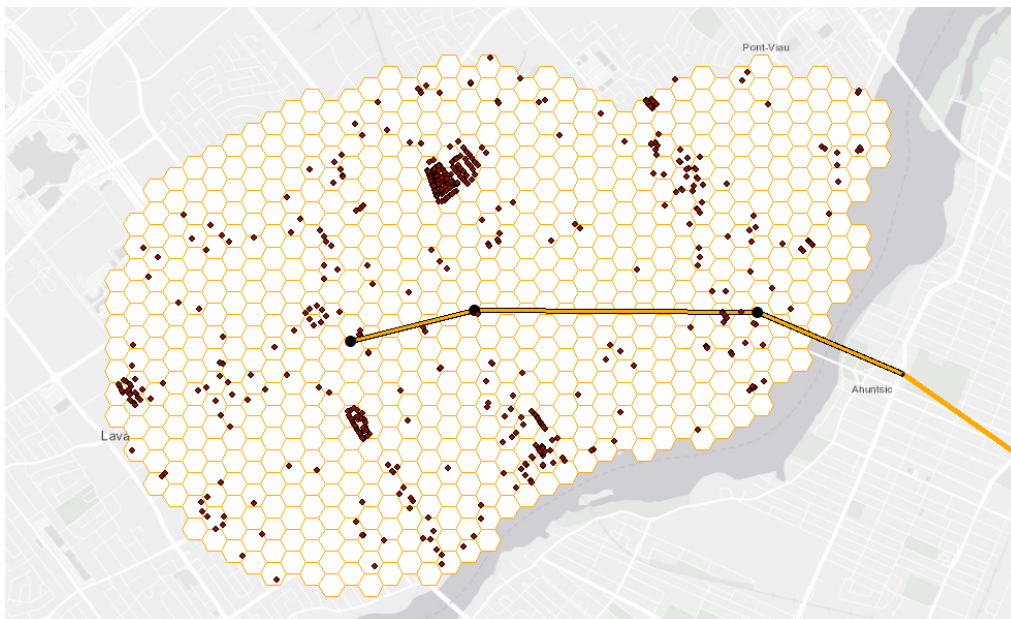
Chapitre 4 – Données

Les données proviennent du rôle d'évaluation foncière de la ville de Montréal. Les données désagrégées et spatialisées (ou microdonnées spatiales) sont agrégées dans un maillage hexagonal concentré autour des stations. Toutes les informations relatives au métro proviennent de la Société de Transport de Montréal.

4.1 Rôle d'évaluation foncière

Le rôle d'évaluation foncière des municipalités du Québec est accessible par l'intermédiaire du ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) moyennant une demande d'accès à l'information. Le rôle d'évaluation foncière recense toutes les informations sur les unités d'évaluation, incluant les immeubles et les lots vacants, de la grande région de Montréal. Dans le cadre de cette étude, seules les informations relatives à la ville de Laval sont utilisées. Les unités d'évaluation sont géolocalisées, ce qui permet de caractériser les hexagones dans lesquels ils se trouvent. La Figure 7 illustre le laboratoire étudié et la distribution de toutes les constructions ayant eu lieu entre 1998 et 2017⁸.

Figure 7 - Représentation des constructions et du maillage hexagonal à l'étude



⁸ Des représentations distinctes pour les constructions commerciales et résidentielles sont disponibles à l'Annexe 1.

Afin d'avoir un portrait complet de l'environnement économique, tous les bâtiments construits antérieurement à l'annonce de l'extension sont considérés lors de la création des variables explicatives. Les caractéristiques (variables explicatives) sont spécifiques à la période de référence. De plus, le rôle d'évaluation foncière dispose des années de construction de chaque immeuble, ce qui permet de classer les bâtiments en fonction de la période durant laquelle ils ont été construits. L'année de construction permet donc de créer les variables explicatives (période de référence) et les variables dépendantes (période de l'annonce, la construction et la mise en service).

Le rôle d'évaluation foncière contient plusieurs autres informations. Il dispose du nombre de logements et de locaux commerciaux par bâtiment. La superficie habitable et du terrain sont aussi disponibles pour chaque unité d'évaluation.

Enfin, le code d'utilisation du bien-fonds (ou CUBF) permet d'obtenir de l'information sur la vocation principale de l'unité d'évaluation. Le CUBF possède une correspondance avec les activités économiques, telles que définies par le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN). Ainsi, il est possible d'isoler les vocations commerciales d'intérêt et de définir les classes permettant de composer les indices d'Herfindahl-Hirschmann (IHH) et les quotients de localisation (QL - Tableau 1).

L'utilisation des CUBF, contrairement au SCIAN, permet d'identifier les terrains vacants et les bâtiments à vocation résidentielle. La conversion des CUBF en code SCIAN permet d'assurer une certaine cohérence dans la création et la définition des indices classiques. Enfin, le CUBF permet l'identification des variables dépendantes, soit les nouvelles constructions à vocation commerciale (de gros et de détail) et résidentielle.

Tableau 1 - Catégorisation des secteurs d'activités selon leur code CUBF et SCIAN

Catégorie	Secteurs d'activités	CUBF	SCIAN
1	Agriculture, Pêche, Forêt et Mine	80	11, 21
2	Construction et Première Transformation	27, 31-33, 66	22, 23
3	Manufacture	20-26, 28-30, 35-39	31-33
4	Commerce de Gros	51	41
5	Commerce de Détail	50, 52-57, 59	44, 45
6	Transport et Entreposage	34, 41-49	48, 49
7	Industrie de l'information et culturelle	70	51
8	Finance, Assurances et Immobilier (FIRE)	61	52, 53
9	Services Professionnels, Scientifiques et Techniques	65, 69	54
10	Services aux Entreprises	63, 64	55, 56
11	Services d'Enseignement	68	61
12	Santé et Services Sociaux	65	62
13	Arts et Spectacles	70	71
14	Hébergement et Restauration	58	72
15	Services Locaux	60, 62	81
16	Administration Publique	67	91
17	Résidentiel	10	ND
/	Espaces Vacants	90	ND

Les catégories 4 et 5 sont utilisées pour définir le nombre de nouvelles constructions commerciales dont la vocation principale est le commerce de gros et de détail (variable dépendante). La catégorie 17 est utilisée pour définir le nombre de nouvelles constructions résidentielles (variable dépendante). FIRE signifie *Finance, Insurance and Real Estate* et ND signifie Non Disponible.

Source : Statistique Canada (2018) et MAMH (2018)

4.2 Variables explicatives du modèle et caractéristiques d'appariement

Chaque hexagone est caractérisé par les unités d'évaluations qu'il contient. Plus précisément, ils sont définis par l'agrégation des informations provenant de tous les bâtiments contenus à l'intérieur de leurs frontières, pour les constructions ayant eu lieu avant l'annonce de l'extension. L'utilisation de la période de référence (avant l'annonce), plutôt que le portrait cumulatif, permet d'éviter une forme d'endogénéité (causalité circulaire) entre les variables.

Ainsi, les caractéristiques d'appariement (variables explicatives) sont basées sur la même période de référence (avant 1998), et ce, indépendamment de la période étudiée.

D'une part, les hexagones sont caractérisés en fonction de leur composition résidentielle. Les variables explicatives relatives à la composition résidentielle des hexagones sont le nombre de logements et la superficie moyenne des terrains résidentiels et l'espace habitable.

Le nombre de logements est considéré, afin de quantifier la présence potentielle de ménages à l'intérieur de chaque hexagone. Par exemple, une tour à condos loge beaucoup plus de ménages (consommateurs et travailleurs), qu'une maison unifamiliale. Les superficies moyennes des terrains et de l'espace habitable permettent de caractériser l'environnement résidentiel des hexagones.

D'autre part, les hexagones sont définis en fonction de leurs compositions commerciales. De ce fait, le nombre de locaux commerciaux et l'environnement économique servent de variables explicatives au modèle. L'analyse du nombre de locaux commerciaux, plutôt que du nombre de bâtiments à vocation commerciale suit le même raisonnement que l'étude du nombre de logements dans le cas du résidentiel.

Enfin, l'environnement des hexagones est caractérisé par le nombre de terrains vacants et par des indicateurs de diversification et de spécialisation. L'IHH permet d'évaluer la diversification des activités (Rhoades, 1993). Cet indicateur se calcule comme suit :

$$IHH_i = \sum_{s=1}^S \left(\frac{nbComm_s}{\sum_{s=1}^S nbComm_s} \right)^2 \quad (11)$$

Le numérateur est le nombre de commerces dans le secteur d'activités s et le dénominateur représente le nombre de commerces totaux à l'intérieur de l'hexagone i . Enfin, un total de 16 secteurs d'activités est utilisé pour définir cet indice ($S = 16$, voir Tableau 1).

La valeur de l'indice peut varier entre $1/S$ et 1 , où S est le nombre de secteurs d'activités retenu. Plus les proportions sont uniformes, plus le marché à l'étude est diversifié. À l'inverse, plus un secteur s'approprie la totalité des activités, plus le marché est spécialisé (ou moins il est diversifié) (Dubé et Brunelle, 2014).

Les quotients de localisation par secteur d'activité (QL_s), quant à eux, sont des indices de spécialisation relative utilisés pour d'identifier la dominance de certains secteurs, dont le *commerce de détail*, *l'information et de la culture*, les *FIRE*, *l'hébergement et la restauration* et les *services locaux* (en gras dans le Tableau 1). Ainsi, pour chacun de ces secteurs, la variable à calculer par hexagone, $QL_{i,s}$, est donnée par le ratio de l'importance relative de l'activité s dans l'hexagone i par rapport à l'importance relative de l'activité s sur l'ensemble de la zone étudiée (équation 12).

$$QL_{i,s} = \frac{\frac{Comm_{i,s}}{Comm_i}}{\frac{Comm_s}{Comm}} \quad (12)$$

Le numérateur permet de calculer l'intensité du secteur d'activité s dans l'hexagone i et le dénominateur permet de calculer l'intensité du secteur s dans toute la zone étudiée (Dubé et Brunelle, 2014). Ce ratio indique alors si l'environnement de l'hexagone i est spécialisé relativement au reste de la zone à l'étude. Si le QL est supérieur à 1, alors l'environnement de l'hexagone i est spécialisé dans le secteur s . À l'opposé, s'il est inférieur à 1, il y a une intensité d'activités relativement plus faible du secteur s dans l'environnement économique de l'hexagone i .

Finalement, les coordonnées géographiques des centroïdes des hexagones sont incluses dans les variables explicatives, afin de favoriser un appariement basé aussi sur la proximité géographique.

Chapitre 5 – Statistiques descriptives

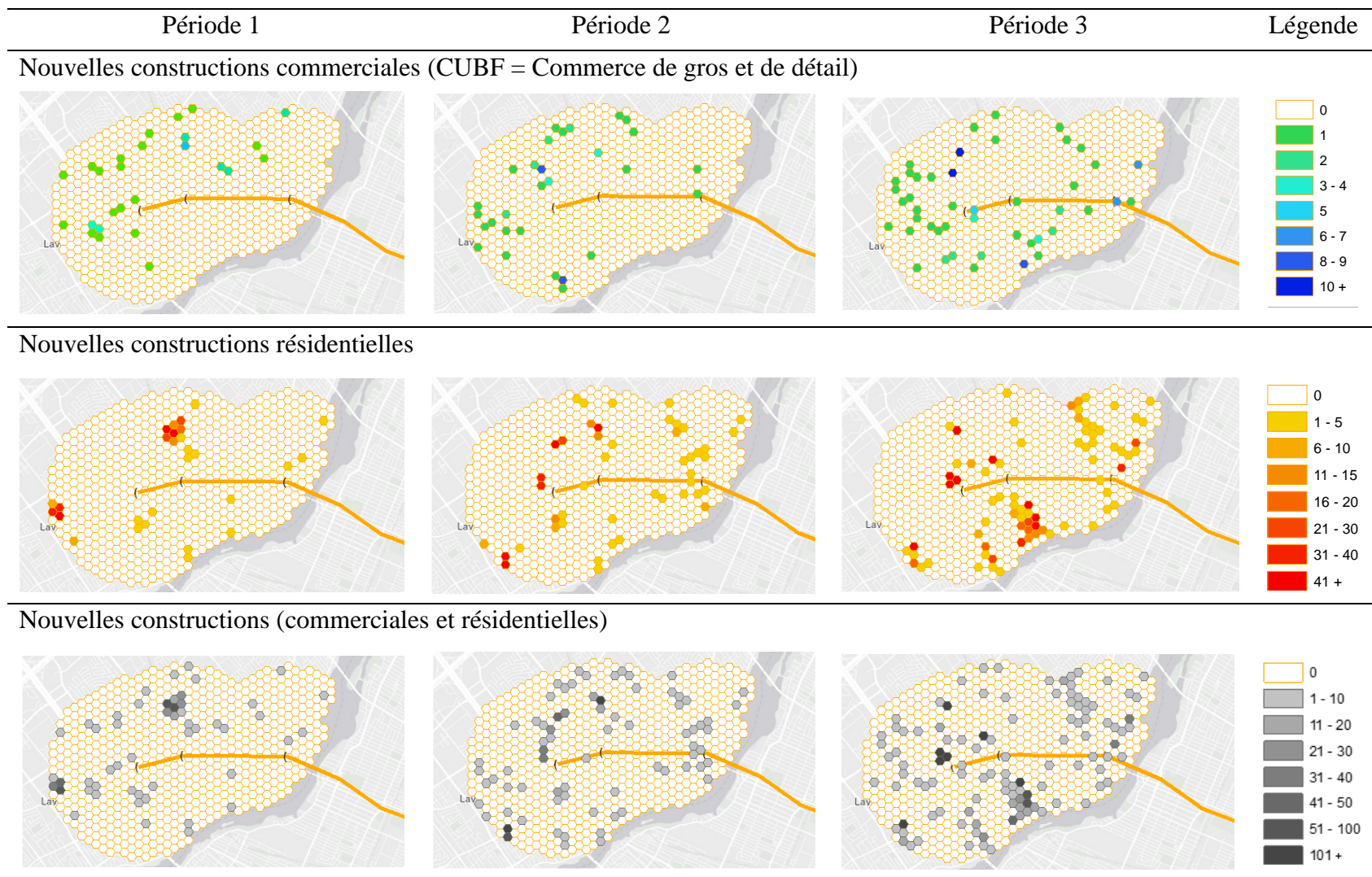
Au total, 683 hexagones de 100 mètres de rayon ($25\,980\ m^2$) sont utilisés comme observations individuelles et parmi ceux-ci, 33 s'avèrent être des « faux zéros ». Chaque hexagone est caractérisé en fonction de ce qu'il recense à l'intérieur de ses frontières. La Figure 8 illustre et quantifie le nombre de constructions par hexagone autour du métro, pour les différentes périodes à l'étude. Néanmoins, cette représentation quantitative des hexagones ne permet aucune conclusion définitive en ce qui a trait aux effets de l'extension sur le développement immobilier.

Afin d'identifier les zones les plus touchées par le développement immobilier, différentes distances critiques sont évaluées. La taille des groupes est directement liée au choix de cette distance seuil, puisque les groupes de traitement et de contrôle varient en fonction de la distance critique sélectionnée (Tableau 2).

Tableau 2 - Quantification de la taille des groupes de traitement et de contrôle en fonction de la distance critique utilisée

Distance critique (mètres)	Groupe traité (Nombre d'hexagones)	Groupe de contrôle (Nombre d'hexagones)
250	16	667
500	83	600
750	171	512
1 000	281	402
1 250	400	283
1 500	506	177
1 750	611	72

Figure 8 - Représentation du nombre de constructions par hexagone, en fonction de la période étudiée



Les valeurs moyennes des variables dépendantes varient également en fonction de la distance critique sélectionnée pour la définition de la zone de traitement et de la période dans laquelle elle se trouve. Ainsi, le Tableau 3 présente les différences (en moyenne par hexagone) entre le groupe traité et le groupe de contrôle, en fonction de la distance critique et de la période étudiée. Un test de Student à deux échantillons⁹ est effectué afin d'analyser la significativité des différences entre les groupes.

Tableau 3 - Différences entre le groupe traité et le groupe de contrôle pour les variables dépendantes du modèle

Variables	Pér	Distance critique (mètres)						
		250	500	750	1 000	1 250	1 500	1 750
Nouvelles constructions commerciales	1	0,781	0,817	0,724	-0,463	-0,855	-0,499	-0,945
	2	1,108	-1,613	-0,531	-0,204	-0,908	-0,256	0,471
	3	3,621	-9,01***	-4,219	-1,114	0,706	1,580	-2,900
Nouvelles constructions résidentielles	1	0,021	0,002	-0,010	0,007	0,009	0,000	0,018
	2	0,018	-0,002	-0,015	-0,006	-0,005	-0,010	-0,021
	3	-0,460***	-0,121***	-0,067**	-0,030	-0,008	-0,010	-0,017

Les nouvelles constructions commerciales font référence aux nouveaux bâtiments dont la vocation principale est le commerce de gros et de détail.

Légende : - : $p > 10\%$, * : $p < 10\%$, ** : $p < 5\%$, *** : $p < 1\%$

Le nombre de nouvelles constructions commerciales s'avère statistiquement différent uniquement pour la distance critique de 500 mètres lors de la dernière période. Les différences dans les constructions résidentielles, quant à elles, s'avèrent significatives seulement pour la dernière période et pour les distances critiques inférieures à 750 mètres. Ces différences peuvent en partie être liées aux caractéristiques des hexagones.

Le même exercice descriptif est conduit et synthétisé dans le Tableau 4, mais uniquement pour la période de référence, puisque les variables explicatives représentent les caractéristiques avant l'annonce de l'extension. Cependant, les valeurs obtenues dépendent toujours de la distance critique. De manière générale, les caractéristiques des hexagones traités et de contrôle sont relativement semblables (différences non-significatives). Certaines exceptions s'appliquent, comme pour le nombre de logements et les coordonnées géographiques, surtout pour les coordonnées Y puisque l'extension de la ligne s'effectue principalement dans un axe est-ouest.

⁹ Sous l'hypothèse que les deux échantillons ont une distribution normale et qu'ils ont la même variance.

Tableau 4 - Différences entre le groupe traité et le groupe de contrôle pour les variables indépendantes (période de référence)

Variables explicatives	Distance critique (mètres)						
	250	500	750	1 000	1 250	1 500	1 750
Nombre de logements (résidentiels)	27,8	-16,15*	-12,98*	-11,97**	-10,73**	-9,09	-15,15**
Nombre de locaux (tous secteurs)	-0,1192	-0,1887	0,9409	-0,4539	0,0638	0,3863	0,385
Terrains vacants	-0,73	-4,470***	-2,06**	-0,738	-0,134	0,128	-1,718
Indice d'Herfindahl-Hirschmann	0,102	0,0382	-0,001	0,000	-0,0114	-0,0112	0,0067
QL (Infos Culture)	0,0147	0,0159	0,0176	-0,0035	-0,0287**	-0,0222	-0,0182
QL (FIRE)	-0,0642	-0,0144	0,002	0,01344	-0,0032	-0,0078	-0,0371**
QL (Hébergement Restauration)	0,0722	0,0779	0,0106	0,0212	-0,0119	-0,0171	0,0134
QL (Commerce de détail)	-0,1151	-0,247	-0,1799	-0,0746	-0,1191	0,0021	0,0167
QL (Services Locaux)	-0,0564	0,0389	0,0243	-0,0047	0,0882	0,0096	0,009
Longitude (Coordonnée X)	-0,003	-0,002	-0,0012	-0,0024	-0,0046**	-0,006**	-0,006***
Latitude (Coordonnée Y)	0,0024	0,002	0,0024*	0,0028**	0,003***	0,003***	0,0025**
Superficie habitable (moyenne)	114,57	93,68	83,35	59,48	13,51	57,43	60,78
Superficie de terrain (moyenne)	133,39	102,85	91,88	71,49	19,27	56,01	69,13

Légende : - : $p > 10\%$, * : $p < 10\%$, ** : $p < 5\%$, *** : $p < 1\%$.

Quelques différences significatives entre les groupes de traitement et de contrôle sont aussi observées pour le nombre de bâtiments de l'industrie « de l'information et culturelle » et des FIRE. Sans surprise, ces différences se reflètent dans leur QL respectif qui présentent eux aussi des différences significatives. Enfin, une autre différence significative et négative dans les terrains vacants est identifiée pour les distances critiques de 500 et 750 mètres.

Sommairement, l'exercice d'appariement permet d'assurer une comparaison de l'évolution des nouvelles constructions commerciales ou résidentielles, en fonction d'hexagones qui possèdent des caractéristiques similaires. Cet exercice est nécessaire puisque certaines différences entre les hexagones, selon le statut, apparaissent dans les variables indépendantes. Malgré tout, la majorité des hexagones ne disposent pas de différences significatives entre elles.

Chapitre 6 – Résultats

Cette section présente et discute des résultats pertinents obtenus dans le cadre de ce mémoire. D’abord, les résultats sur le développement commercial sont présentés, puis ceux relatifs au développement résidentiel.

6.1 Développement immobilier commercial

Les résultats liés aux nouvelles constructions dont la vocation principale (CUBF) est liée au commerce (de gros et de détail)¹⁰ sont présentés dans le Tableau 5. Dans l’ensemble, une plus forte construction commerciale est observée dans la zone située à grande proximité des nouvelles stations. L’effet significatif est noté jusqu’à une distance critique d’au plus 750 mètres (Colonne 1 à 3). Au-delà de cette distance, aucun effet pertinent n’est significatif. De ce fait, les résultats suggèrent que l’arrivée du métro a eu pour effet de stimuler les constructions d’immeubles à vocation commerciale dans un rayon plutôt limité. Toutefois, un certain nombre de bémols s’appliquent à cette conclusion générale.

Premièrement, un nombre relativement moins important de nouvelles constructions commerciales est observé dans le rayon de 0-250 mètres, lors de la période de l’annonce (colonne 1 – Tableau 5). Les résultats obtenus indiquent qu’en moyenne un hexagone traité recense environ 0,02 nouvelle construction commerciale de moins qu’un hexagone du groupe de contrôle. Cet effet négatif peut marquer la méfiance des investisseurs lors de l’annonce. Les investisseurs attendaient possiblement un geste plus concret, tel que le début de la construction, avant d’engager des sommes dans la construction de nouveaux édifices. Ces résultats sont robustes au nombre de voisins utilisés pour l’appariement, puisque seul l’appariement par un voisin n’identifie pas de différences significatives entre les groupes.

Ensuite, l’analyse identifie un effet positif et significatif durant la période de construction, dans un rayon de 750 mètres des stations. Les résultats obtenus montrent qu’un hexagone traité compte, en moyenne, entre 0,036 et 0,056 plus de nouvelles constructions commerciales, en comparaison à un hexagone du groupe de contrôle. Cette situation suggère que les constructions commerciales ont été plus nombreuses dans le groupe traitement lors

¹⁰ Toujours dans le but d’alléger l’écriture, les constructions dont la vocation principale (CUBF) est liée au commerce (de gros et de détail) seront simplement noté comme les constructions commerciales dans cette section.

de cette seconde période. Ainsi, l'effet d'anticipation a été partiellement internalisé par des promoteurs et cet effet s'est concentré spatialement.

Tableau 5 - Effets moyens de l'extension du métro sur les constructions commerciales¹¹

		Distance critique (mètres)						
		250	500	750	1 000	1 250	1 500	1 750
Période 1 Annonce	ATE 1 voisin	-0,0186	0,0155	0,014	-0,0124	0,0016	0,0062	0,000
	ATE 2 voisins	-0,0202*	0,0016	0,0147	-0,0116	-0,0077	0,0109	-0,0078
	ATE 3 voisins	-0,0207**	0,0021	0,0243	-0,0093	-0,0083	0,0093	-0,0093
	ATE 4 voisins	-0,021***	0,0043	0,0329	-0,0093	-0,0085	0,0081	-0,0151
Période 2 Construction	ATE 1 voisin	0,0202	-0,0031	0,0465	-0,0016	0,0047	-0,0062	0,0202*
	ATE 2 voisins	-0,0155	-0,007	0,0558***	-0,0008	0,0039	0,0039	0,0202*
	ATE 3 voisins	-0,0155	-0,0088	0,0465**	-0,0005	0,0052	0,000	0,0207*
	ATE 4 voisins	-0,0155	-0,0109	0,0360**	-0,0004	0,0039	0,0008	0,0202**
Période 3 Mise en Service	ATE 1 voisin	0,1287**	0,1070**	0,0961**	0,0341	0,0062	0,0078	0,0109
	ATE 2 voisins	0,1527**	0,1008**	0,0674**	0,0186	0,007	0,0039	0,0101
	ATE 3 voisins	0,1824**	0,1152**	0,0506	0,0233	0,0036	0,0062	0,0114
	ATE 4 voisins	0,2543**	0,1008**	0,0492	0,019	0,0081	0,0074	0,0116

Légende : * : $p < 10\%$, ** : $p < 5\%$, *** : $p < 1\%$

Les résultats indiquent aussi des impacts non-significatifs pour les rayons plus faibles (250 et 500 mètres). En d'autres termes, l'effet de la construction s'est principalement fait sentir à une certaine distance (entre 500 et 750 mètres) des futures stations. Cette situation peut s'expliquer en partie par le fait que les terrains à grande proximité des nouvelles stations étaient difficilement accessibles pour la construction de nouveaux immeubles durant cette

¹¹ Tous les résultats ont été soumis à des tests de permutations afin d'assurer la significativité de leurs résultats et les représentations graphiques des différentes distributions de la statistique de test de permutation sont disponibles à l'Annexe 2.

seconde période. Ainsi, l'impact de l'extension s'est partiellement matérialisé à proximité des stations, mais légèrement en retrait relativement aux constructions de la prochaine période. L'effet estimé est assez robuste puisque seul l'appariement par un voisin n'identifie pas de différence significative entre le groupe traité et le groupe de contrôle.

Enfin, les résultats indiquent une forte concentration de nouvelles constructions commerciales dans les rayons de 250 et 500 mètres (Colonne 1 et 2) des stations après la mise en service de l'extension. L'effet estimé dans le premier rayon (0-250 mètres) est plus grand que dans le second (250-500 mètres), ce qui illustre l'effet structurant que l'ajout du métro peut avoir sur l'offre commerciale. Ces résultats sont significatifs indépendamment du nombre de voisins utilisés pour l'appariement.

Les résultats suggèrent donc que l'effet est décroissant en fonction de la distance et que cet effet est fortement concentré spatialement. Également, un effet positif et significatif pour la construction de bâtiments commerciaux est observable dans un rayon de 750 mètres (Colonne 3), mais pour un nombre de voisins restreints (un et deux voisins).

Les stations représentent des nœuds commerciaux importants pour les entreprises. En effet, pour les entreprises de services, la proximité aux stations représente une localisation de choix, sachant que les contacts avec des consommateurs potentiels sont nécessaires pour leur fonctionnement et que cette proximité facilite le déplacement des travailleurs. Ainsi, les entreprises bénéficient d'un bassin de main-d'œuvre potentiel plus important, ce qui les incite à se localiser à proximité des nouvelles stations. Finalement, l'extension de la ligne orange recense à même son terminus (station Montmorency) un campus de l'Université de Montréal. Ces installations universitaires impliquent une fréquentation accrue de cette station et un bassin de main-d'œuvre et de consommateurs important pour les entreprises.

6.2 Développement immobilier résidentiel

Les résultats relatifs aux nouvelles constructions résidentielles sont présentés dans le Tableau 6. Dans l'ensemble, les résultats indiquent que le développement résidentiel s'effectue surtout en périphérie du noyau commercial et des stations pendant les périodes de l'annonce et de la construction. Cependant, après la mise en service, les constructions résidentielles se concentrent à très grande proximité des stations.

Pendant la période de l'annonce, la construction résidentielle s'effectue majoritairement dans les rayons de 1 000 et 1 250 mètres (Colonne 4 et 5). Ces nouvelles constructions peuvent s'expliquer par la vocation, surtout résidentielle, de la ville de Laval. Ensuite, les différences observées entre le groupe traitement et le groupe de contrôle sont toutes significatives, indépendamment du nombre de voisins utilisés pour l'appariement, et les effets estimés sont relativement similaires. Les résultats indiquent qu'en moyenne, un hexagone traité recense entre 1,3 et 1,8 plus de nouvelles constructions résidentielles, relativement à un hexagone du groupe contrôle, lorsque la distance critique est de 1 000 mètres et entre 2,06 et 2,86, lorsqu'elle est de 1 250 mètres. Les résultats obtenus sont robustes et il est possible d'affirmer que l'effet du prolongement du métro a été surtout anticipé par le marché résidentiel, comparativement au marché commercial.

L'effet d'anticipation semble se poursuivre lors de la période de construction du métro. Les nouvelles constructions résidentielles situées dans un rayon de 1 250 mètres des stations montrent un effet positif et significatif pour trois et quatre voisins (colonne 5). Le fait qu'aucun effet significatif ne soit noté avant cette distance suggère ainsi que l'effet s'est principalement concentré entre 1 000 et 1 250 mètres. Cette hausse dans le nombre de bâtiments résidentiels s'inscrit dans la tendance de développement résidentiel de la ville de Laval et poursuit les effets notés durant la période d'annonce. Ces résultats sont néanmoins sensibles au nombre de voisins utilisés lors de l'appariement. L'analyse de robustesse ne permet donc pas de conclure hors de tout doute qu'un effet global et significatif est observé durant la période de la construction.

Tableau 6 - Effets moyens de l'extension du métro sur les constructions résidentielles¹²

		Distance critique (m)						
		250	500	750	1 000	1 250	1 500	1 750
Période 1 Annonce	1 voisin ATE	-0,687	-0,702	-0,591	1,806**	2,870***	0,045	0,688
	2 voisins ATE	-0,687	-0,705	-0,502	1,650**	2,423***	-0,881	0,688
	3 voisins ATE	-0,690	-0,699	-0,461	1,569**	2,317***	-0,381	0,688
	4 voisins ATE	-0,690	-0,700	-0,484	1,329**	2,069***	-0,217	0,719
Période 2 Construction	1 voisin ATE	-0,955	-0,056	-0,228	-0,385	0,403	-0,251	-0,617
	2 voisins ATE	-0,895	0,164	-0,023	-0,339	1,008	0,095	-0,336
	3 voisins ATE	-0,956	0,598	-0,112	-0,163	1,410**	0,176	-0,634
	4 voisins ATE	-0,950	0,648	-0,058	0,041	1,514**	0,355	-0,784
Période 3 Mise en Service	1 voisin ATE	-3,191	19,155**	0,068	-0,082	-0,798	-3,693	3,730*
	2 voisins ATE	-3,187	6,442***	0,967	-0,930	-1,055	-3,082	2,759
	3 voisins ATE	-3,399**	15,493***	1,567	-0,460	-1,053	-2,948	2,576
	4 voisins ATE	-3,345**	13,979***	1,916	0,162	-1,108	-2,435	2,616

Légende : * : $p < 10\%$, ** : $p < 5\%$, *** : $p < 1\%$

Après la mise en service, les résultats indiquent une hausse de la construction résidentielle à proximité des stations. En effet, la différence entre les groupes traités et de contrôle est significative pour les distances critiques de 250 et 500 mètres (Colonne 1 et 2). L'effet négatif enregistré dans le rayon 0-250 mètres suggère qu'en moyenne entre 3,3 et 3,4 nouvelles constructions résidentielles de moins sont recensées dans un hexagone traité, relativement à un hexagone de contrôle. Cependant, ce résultat est sensible au nombre de voisins utilisés pour l'appariement.

¹² Tout comme pour les résultats liés aux constructions commerciales, les résultats relatifs aux constructions résidentielles ont été soumis à des tests de permutations afin d'assurer leur significativité. Les représentations graphiques des différentes distributions de la statistique de test de permutation sont disponibles à l'Annexe 3.

Pour une distance plus grande, soit entre 250 et 500 mètres, le nombre de nouvelles constructions a fait un bond important. En effet, les résultats obtenus comptabilisent, en moyenne, entre 6 et 19 nouvelles constructions résidentielles de plus par hexagone traité, relativement au groupe de contrôle. De plus, ce résultat laisse suggérer que la grande proximité des stations a vu apparaître de nouvelles constructions commerciales, alors que les constructions résidentielles ont été stimulées en retrait de ces développements commerciaux. Le développement résidentiel, dans un rayon de 250-500 mètres avec les stations, peut aussi s'expliquer par l'apparition de quartiers mixtes recensant à la fois des bâtiments commerciaux et résidentiels.

6.3 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle le nombre de constructions commerciales est principalement stimulé à proximité des stations, laissant moins de place pour les nouvelles constructions résidentielles, qui se situeront juste à l'extérieur de la zone commerciale. En effet, les commerces se concentrent à très grande proximité des stations, soit dans un rayon d'au plus 750 mètres pour les trois périodes. Les résidences, quant à elles, se construisent plus en périphérie, soit dans un rayon d'au plus 1 250 mètres, mais uniquement pour les deux premières périodes (annonce et construction). La dernière période identifie un développement résidentiel marqué à une distance critique de 500 mètres.

De plus, l'étude des effets par période suggère que les anticipations sont surtout marquées dans le secteur de la construction résidentielle, alors que les effets sur la construction commerciale se matérialisent une fois le service en place. Toutefois, les résultats n'éliminent pas pour autant les effets de spéculations sur le développement immobilier commercial. En d'autres termes, les effets de spéculation se concrétisent notamment par l'achat de terrain et la construction de nouveaux bâtiments prend place ultérieurement, soit dans les périodes suivant celle de l'achat.

Conclusion

Ce mémoire a pour objectif d'évaluer l'effet du transport en commun sur le développement immobilier, commercial et résidentiel. Pour ce faire, une étude de cas a été conduite sur la dernière extension du métro de Montréal à Laval. Les variables d'intérêt du mémoire sont le nombre de nouvelles constructions commerciales, dont la vocation principale est le commerce de gros et de détail, et résidentielles, dans un rayon de 2 kilomètres des nouvelles stations. Ce mémoire cherche à vérifier l'hypothèse que le développement immobilier commercial est principalement concentré à proximité des stations, laissant moins de place pour les nouvelles constructions résidentielles, qui se localiseront dans la zone adjacente à la zone commerciale.

Ce mémoire contribue à la littérature en étudiant les effets potentiels de l'instauration d'une infrastructure majeure de transport sur le nombre de nouvelles constructions commerciales et résidentielles. En effet, les impacts sur ces variables sont rarement analysés de manière approfondie dans la littérature. La pertinence de ce mémoire repose également sur le choix de l'approche méthodologique, inspirée d'une approche par appariement avec l'utilisation d'une approche par permutations pour tester la significativité des effets.

Les résultats suggèrent que la construction de nouveaux immeubles commerciaux se concentre dans un rayon d'au plus 750 mètres et que les effets s'observent essentiellement après le début de la construction du métro. Les résidences, quant à elles, se construisent plus en périphérie, soit entre 1 000 et 1 250 mètres, mais uniquement pour les périodes de l'annonce et de la construction. Ainsi, les effets par période suggèrent que les anticipations sont surtout marquées dans le secteur de la construction résidentielle. Toutefois, les effets de spéculation, pour les entrepreneurs de bâtiments commerciaux, peuvent se manifester par l'achat de terrain, et non par la construction, qui généralement prend place ultérieurement.

Le dernier résultat suggère une croissance conjointe des constructions commerciales et résidentielles à proximité des stations (entre 250 et 500 mètres). Celui-ci peut s'expliquer par l'essor de quartiers mixtes, recensant à la fois des bâtiments commerciaux et résidentiels à proximité des nouvelles stations.

Évidemment, cette étude comprend certaines limites, puisqu'elle ne permet pas d'analyser l'occupation des nouveaux bâtiments commerciaux par les entreprises ni des nouvelles résidences par les ménages. En effet, les impacts sur le taux d'occupation des bâtiments commerciaux et résidentiels, causés par une hausse de l'offre immobilière, ne sont pas abordés dans ce mémoire.

Une extension intéressante serait d'étudier l'effet du métro sur la relocalisation d'entreprises déjà en service (substitution de localisation) ou sur la création de nouvelles entreprises, due à la bonification de l'offre immobilière commerciale. Ce phénomène peut être étudié à l'aide de données assurant un suivi longitudinal des déplacements des entreprises.

Une seconde extension à ce mémoire serait d'utiliser le nombre de locaux commerciaux et le nombre de logements résidentiels comme variables dépendantes. Ces variables permettraient de quantifier et d'analyser la composition des bâtiments hybrides, ce qui n'est pas possible lorsque le bâtiment est l'entité étudiée (vocation unique). Par ailleurs, les résultats obtenus seraient complémentaires à ceux présentés dans ce mémoire et permettraient de peindre un portrait plus complet du développement immobilier autour des stations.

Bibliographie

- Abadie, Alberto, David Drukker, Jane Leber Herr, et Guido W. Imbens. « Implementing Matching Estimators for Average Treatment Effects in Stata ». *The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata* 4, n° 3 (août 2004): 290-311.
- Abadie, Alberto, et Guido W. Imbens. « Bias-Corrected Matching Estimators for Average Treatment Effects ». *Journal of Business & Economic Statistics* 29, n° 1 (janvier 2011): 1-11.
- . « Large Sample Properties of Matching Estimators for Average Treatment Effects ». *Econometrica* 74, n° 1 (janvier 2006): 235-67.
- Allen, Marcus T., Grant W. Austin, et Mushfiq Swaleheen. « Measuring Highway Impacts on House Prices Using Spatial Regression ». *Journal of Sustainable Real Estate* n° 7 (2015): 83-98.
- Anselin, Luc. « Local Indicators of Spatial Association – LISA ». *Geographical Analysis* 27, n° 2 (1995): 93-115.
- Arzaghi, Mohammad, et J. Vernon Henderson. « Networking off Madison Avenue ». *Review of Economic Studies* 75, n° 4 (octobre 2008): 1011-38.
- Atkinson-Palombo, Carol. « Comparing the Capitalisation Benefits of Light-Rail Transit and Overlay Zoning for Single-Family Houses and Condos by Neighbourhood Type in Metropolitan Phoenix, Arizona ». *Urban Studies* 47, n° 11 (octobre 2010): 2409-26.
- Bazin, Sylvie, Christophe Beckerich, et Marie Delaplace. « Dessertes TGV et localisation des entreprises dans les quartiers d'affaires : Nouvelle accessibilité ou nouvelle offre de bureaux », *les Cahiers Scientifiques du Transport* n° 56 (2009) : 37-61.
- Beckerich, Christophe, Sylvie Benoit-Bazin, et Marie Delaplace. « Dessertes TGV et localisation des entreprises dans les quartiers de gare : une activation du potentiel de proximité avec Paris? Le cas du quartier Clairmarais à Reims », *les Cahiers Scientifiques du Transport* n° 69-70 (2016) : 3-35.
- Beaudoin, Justin, et C.-Y. Cynthia Lin Lawell. « The Effects of Public Transit Supply on the Demand for Automobile Travel ». *Journal of Environmental Economics and Management* n° 88 (mars 2018): 447-67.
- Beaudoin, Justin, Y. Hossein Farzin et C.-Y. Cynthia Lin Lawell. « Public transit investment and sustainable transportation: A review of studies of transit's impact on traffic congestion and air quality ». *Research in Transportation Economics* n° 52 (octobre 2015): 15-22.
- Belleau-Arsenault, Catherine, et Jean Dubé. « Quels impacts de l'aide financière sur la performance des établissements manufacturiers en régions non-métropolitaines ? Une réponse par méthode d'appariement spatiale ». *Revue Canadienne des Sciences Régionales* n° 42 (novembre 2019) : 11-23.

- Caliendo, Marco, et Sabine Kopeinig. « Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching ». *Journal of Economic Surveys* 22, n° 1 (février 2008): 31-72.
- Cervero, Robert, et Michael Duncan. « Transit's Value-Added Effects: Light and Commuter Rail Services and Commercial Land Values ». *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board* 1805, n° 1 (janvier 2002): 8-15
- Chatman, Daniel G., et Robert B. Noland. « Do Public Transport Improvements Increase Agglomeration Economies? A Review of Literature and an Agenda for Research ». *Transport Reviews* 31, n° 6 (novembre 2011): 725-42.
- Chatman, Daniel G., Robert B. Noland, et Nicholas J. Klein. « Firm Births, Access to Transit, and Agglomeration in Portland, Oregon, and Dallas, Texas ». *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board* 2598, n° 1 (janvier 2016): 1-10.
- Credit, Kevin. « Transitive Properties: A Spatial Econometric Analysis of New Business Creation around Transit ». *Spatial Economic Analysis* 14, n° 1 (2 janvier 2019): 26-52.
- . « Transit-Oriented Economic Development: The Impact of Light Rail on New Business Starts in the Phoenix, AZ Region, USA ». *Urban Studies* 55, n° 13 (octobre 2018): 2838-62.
- Devaux, Nicolas, Jean Dubé, et Philippe Apparicio. « Anticipation and Post-Construction Impact of a Metro Extension on Residential Values: The Case of Laval (Canada), 1995–2013 ». *Journal of Transport Geography* 62 (juin 2017): 8-19.
- Dubé, Jean, et Cédric Brunelle. « Dots to Dots : A General Methodology to Build Local Indicators Using Spatial Micro-Data ». *The Annals of Regional Science* 53, n° 1 (août 2014): 245-72.
- Duncan, Michael. « The Impact of Transit-Oriented Development on Housing Prices in San Diego, CA ». *Urban Studies* 48, n° 1 (janvier 2011): 101-27.
- Enid, Ehouman Karen. « Le prolongement du métro de la ligne 2 à Laval : Un projet économiquement rentable ? ». Rapport de recherche, Université de Montréal, Département d'économique (décembre 2007), 71.
- Gelper, Naomie. « Palmarès des stations de métro les plus et les moins fréquentées ». *Journal Métro* (8 juillet 2012). <https://journalmetro.com/dossiers/la-liste-du-lundi/120111/palmares-des-stations-de-metro-les-plus-et-les-moins-frequentees/>
- Gilbert, Dale et Nathan Baker. « Montreal Metro » *The Canadian Encyclopedia* (Janvier 2020). <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/montreal-metro>
- Glaeser, Edward L., Matthew E. Kahn, et Jordan Rappaport. « Why Do the Poor Live in Cities? The Role of Public Transportation ». *Journal of Urban Economics* 63, n° 1 (janvier 2008): 1-24.

- Hassan, Mohammad Nurul, Yaser E. Hawas, et Kamran Ahmed. « A Multi-Dimensional Framework for Evaluating the Transit Service Performance ». *Transportation Research Part A : Policy and Practice* 50 (avril 2013): 47-61.
- Heß, Simon. « Randomization Inference with Stata: A Guide and Software ». *The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata* 17, n° 3 (septembre 2017): 630-51.
- Higgins, Christopher D., Matthew D. Adams, Weeberb J. Réquia, et Moataz Mohamed. « Accessibility, air pollution, and congestion: Capturing spatial trade-offs from agglomeration in the property market ». *Land Use Policy* 84 (mai 2019) : 177-191.
- Higgins, Christopher D., Matthias N. Sweet, et Pavlos S. Kanaroglou. « All Minutes Are Not Equal: Travel Time and the Effects of Congestion on Commute Satisfaction in Canadian Cities ». *Transportation* 45, n° 5 (septembre 2018): 1249-68.
- Higgins, Christopher D., et Pavlos S. Kanaroglou. « A Latent Class Method for Classifying and Evaluating the Performance of Station Area Transit-Oriented Development in the Toronto Region ». *Journal of Transport Geography* 52 (avril 2016): 61-72.
- Hurst, Needham B., et Sarah E. West. « Public Transit and Urban Redevelopment: The Effect of Light Rail Transit on Land Use in Minneapolis, Minnesota ». *Regional Science and Urban Economics* 46 (mai 2014): 57-72.
- Jacobs, Jane. « The economy of cities. » New York : Vintage Books; 1969.
- Jiwattanakulpaisarn, Piyapong. « The Impact of Transport Infrastructure Investment on Regional Employment: An Empirical Investigation ». *University of London, Centre for Transport Studies, Department of Civil and Environmental Engineering*, Thesis (mai 2008), 263.
- Kay, Andrew I., Robert B. Noland, et Stephanie DiPetrillo. « Residential Property Valuations near Transit Stations with Transit-Oriented Development ». *Journal of Transport Geography* 39 (juillet 2014): 131-40.
- Li, Jianyi, et Hao Huang. « Effects of Transit-Oriented Development (TOD) on Housing Prices: A Case Study in Wuhan, China ». *Research in Transportation Economics* 80 (mai 2020): 1008-13.
- Malmberg, Anders, et Peter Maskell. « The Elusive Concept of Localization Economies: Towards a Knowledge-Based Theory of Spatial Clustering ». *Environment and Planning A: Economy and Space* 34, n° 3 (mars 2002): 429-49.
- Marshall, Alfred. *Principles of Economics (1891)*. London : Palgrave Macmillan UK, 2013.
- Mejia-Dorantes, Lucia, Antonio Paez, et Jose Manuel Vassallo. « Transportation Infrastructure Impacts on Firm Location : The Effect of a New Metro Line in the Suburbs of Madrid ». *Journal of Transport Geography* 22 (mai 2012): 236-50.
- Melo, Patricia C., et Daniel J. Graham. « Transport-Induced Agglomeration Effects: Evidence for US Metropolitan Areas ». *Regional Science Policy & Practice* 10, n° 1 (mars 2018): 37-47.

- Messier, Louis-Philippe et Véronique Harvey. « 680 bonnes adresses autour du métro ». *Les Éditions du Journal* (2016). <https://www.messageries-adp.com/editions-journal/680-bonnes-adresses-autour-metro/louis-philippe-messier/livre/9782897610074>
- Mohammad, Hassan Nurul, Yaser E. Hawas, et Kamran Ahmed. « A Multi-Dimensional Framework for Evaluating the Transit Service Performance ». *Transportation Research Part A : Policy and Practice* 50 (avril 2013): 47-61.
- Rhoades, Stephen A. « Herfindahl-Hirschman Index ». Note Technique, *Board's Division of Research and Statistics* (1993), 2.
- Schuetz, Jenny. « Do Rail Transit Stations Encourage Neighbourhood Retail Activity? » *Urban Studies* 52, n° 14 (novembre 2015): 2699-2723.
- Société de transport de Montréal. « Métro » (mars 2020). <http://www.stm.info/en/info/networks/metro>
- Song, Yena, Keumsook Lee, William P. Anderson, et T. R. Lakshmanan. « Industrial Agglomeration and Transport Accessibility in Metropolitan Seoul ». *Journal of Geographical Systems* 14, n° 3 (juillet 2012): 299-318.
- Stata. « teffects nnmatch — Nearest-neighbor matching ». (2020), 13. <https://www.stata.com/manuals13/teteffectsnnmatch.pdf>
- Undata. « City population by sex, city and city type » (2016). <http://data.un.org/Data.aspx?d=POP&f=tableCode:240>
- Weisbrod, Glen, Chandler Duncan, et Susan Jones Moses. « The Evolving Connection of Transit, Agglomeration and Growth of High-Tech Business Clusters », *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2452, n° 1 (2014):11-18
- Wikipédia, « Métro de Montréal ». (avril 2016). https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tro_de_Montr%C3%A9al
- Yao, Yves-Bryand, Jean Dubé, et David Lubala « Le silence st d'or... mais que vaut l'or ? Impact de la proximité aux axes routiers sur les valeurs résidentielles unifamiliales à Québec, 1993-2004 ». *Revue Canadienne des Sciences Régionales* 43, n° 2 (2020) : 39-49.
- Zheng, Xian, Wenwei Peng, et Mingzhi Hu. « Airport Noise and House Prices: A Quasi-Experimental Design Study ». *Land Use Policy* 90 (janvier 2020) : 1042-87.

Annexe

Annexe 1. Représentations distinctes des unités d'évaluation

Figure A1.1 - Représentation des unités d'évaluation commerciales

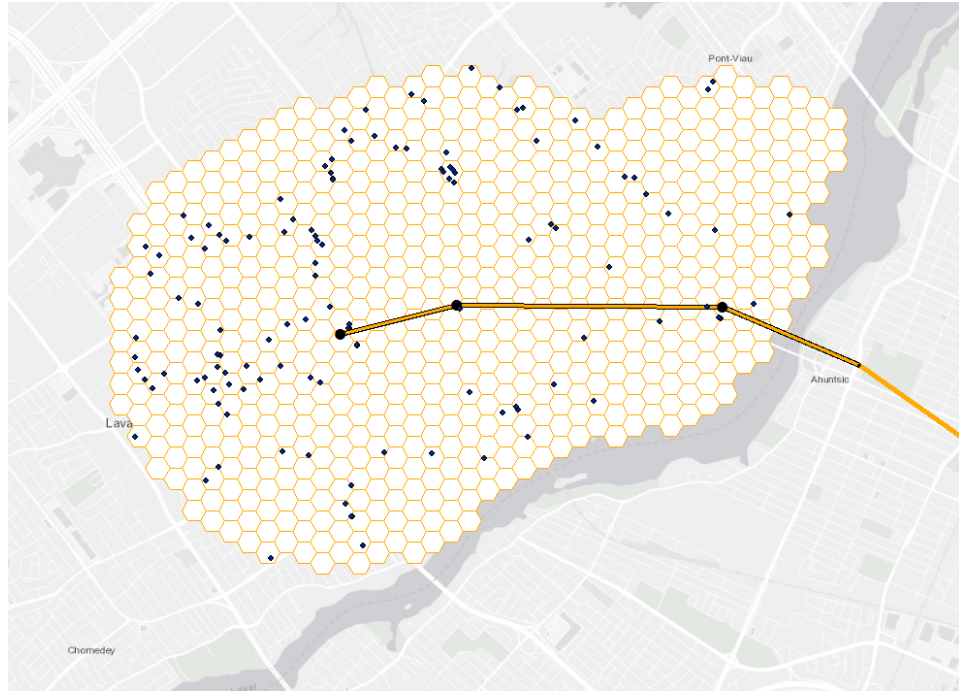
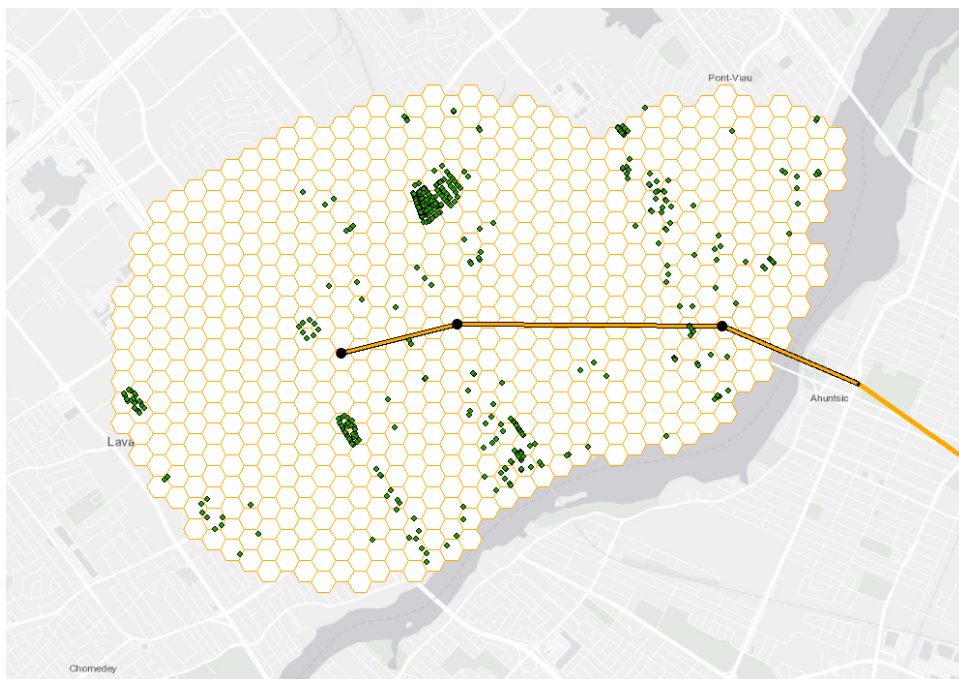
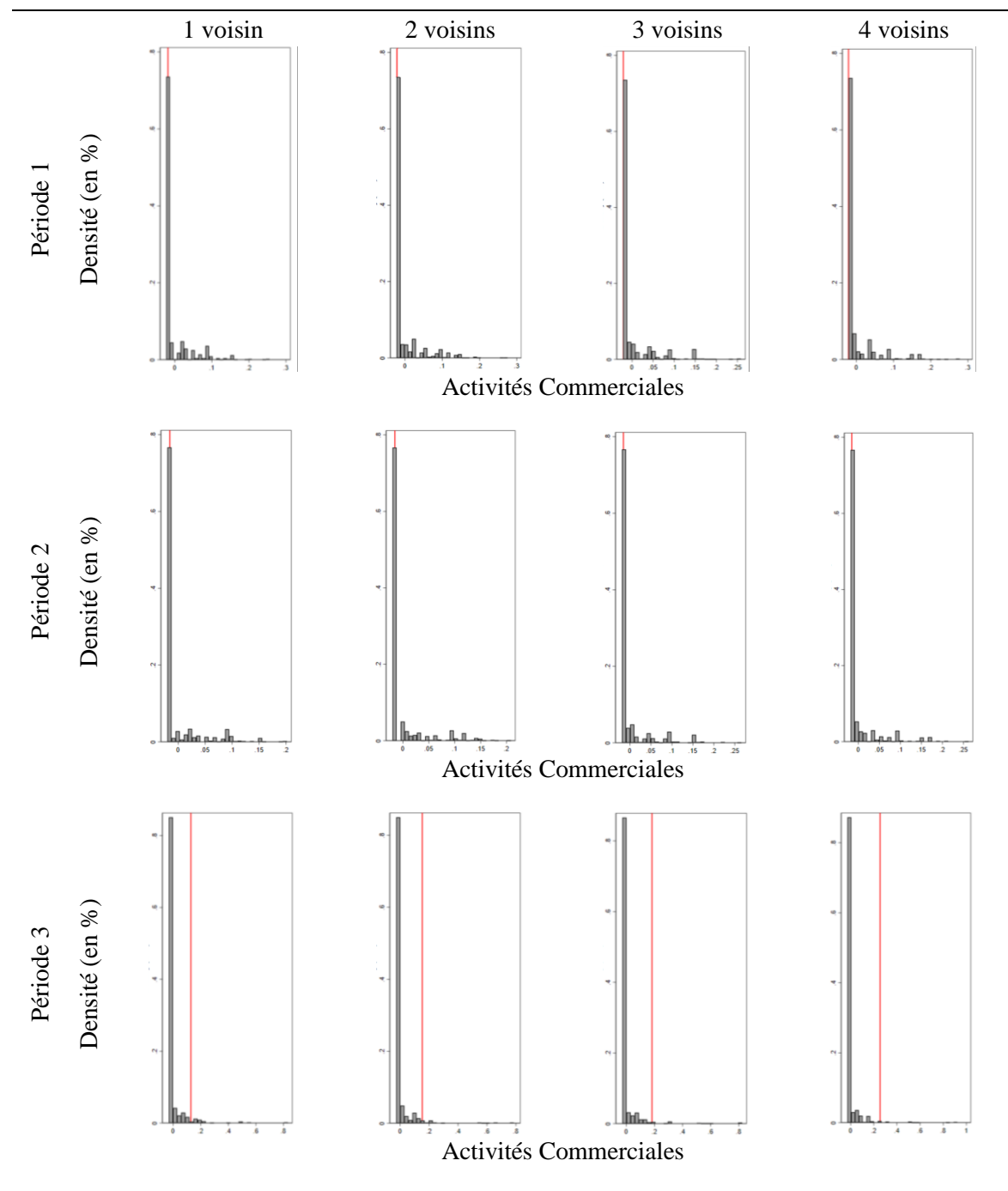


Figure A1.2 - Représentation des unités d'évaluation résidentielles

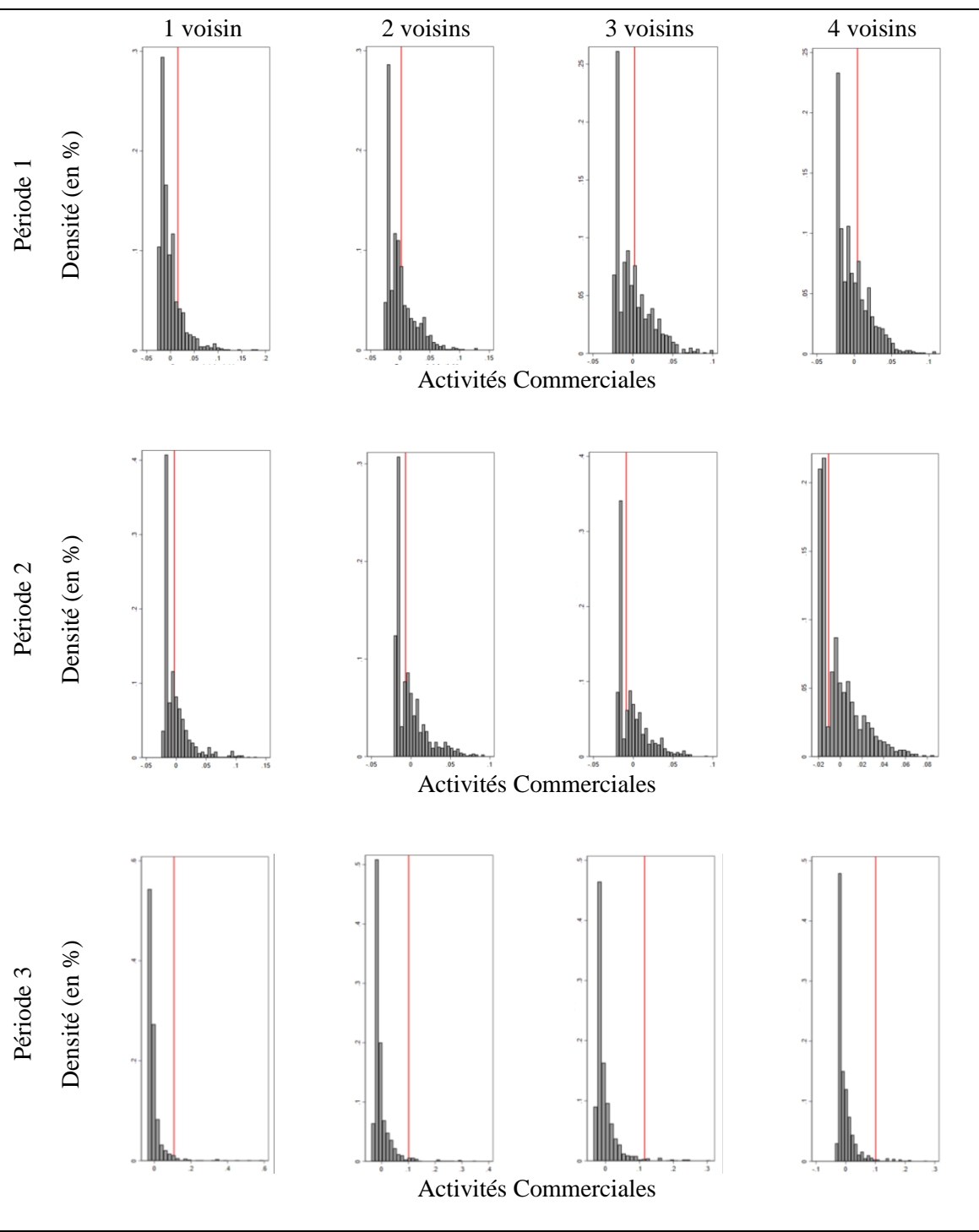


Annexe 2. Distribution de la statistique de test en fonction du nombre de voisins et de la distance critique (Constructions commerciales)

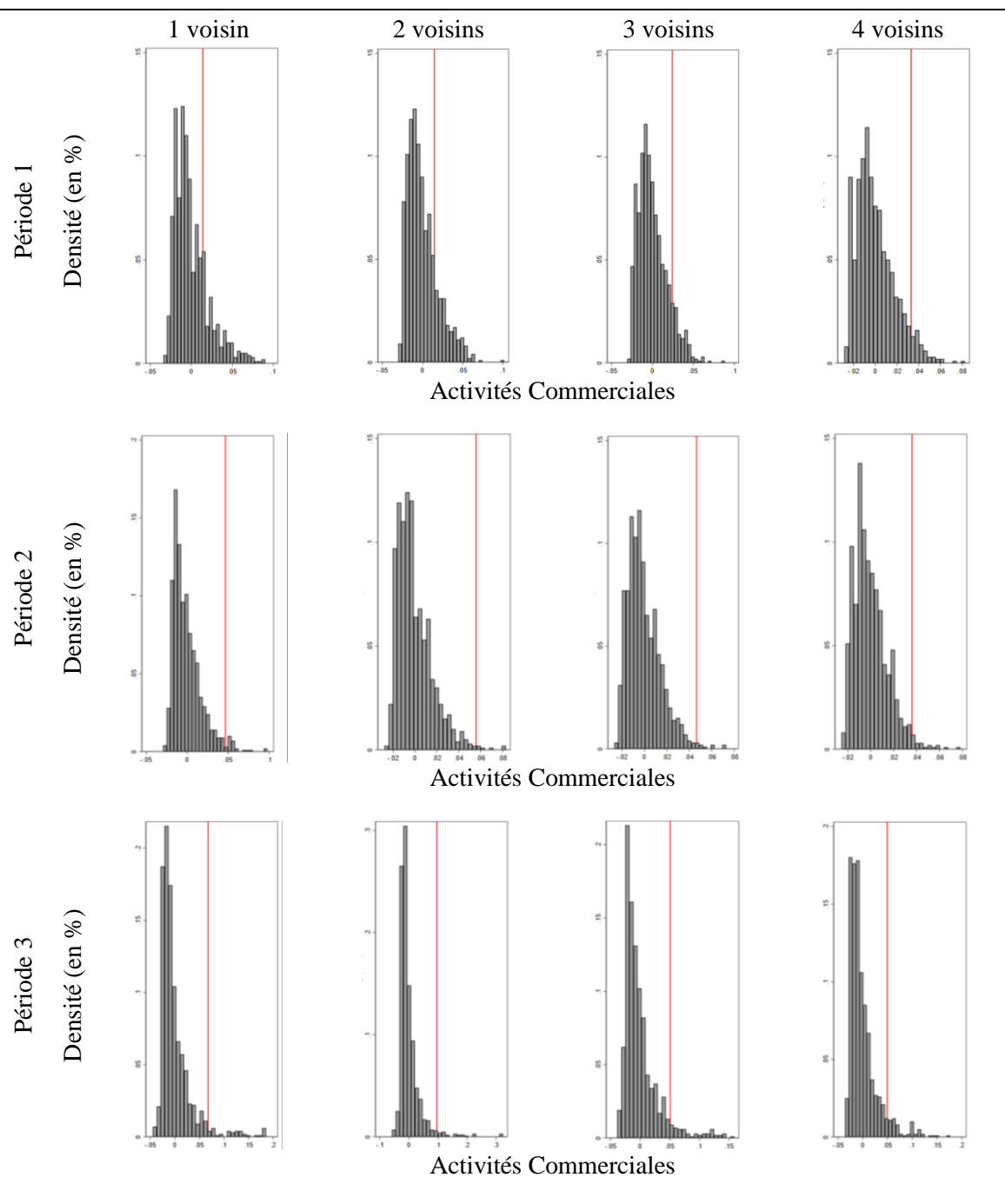
Graphique A2.1 – Test de permutation à distance critique de 250 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



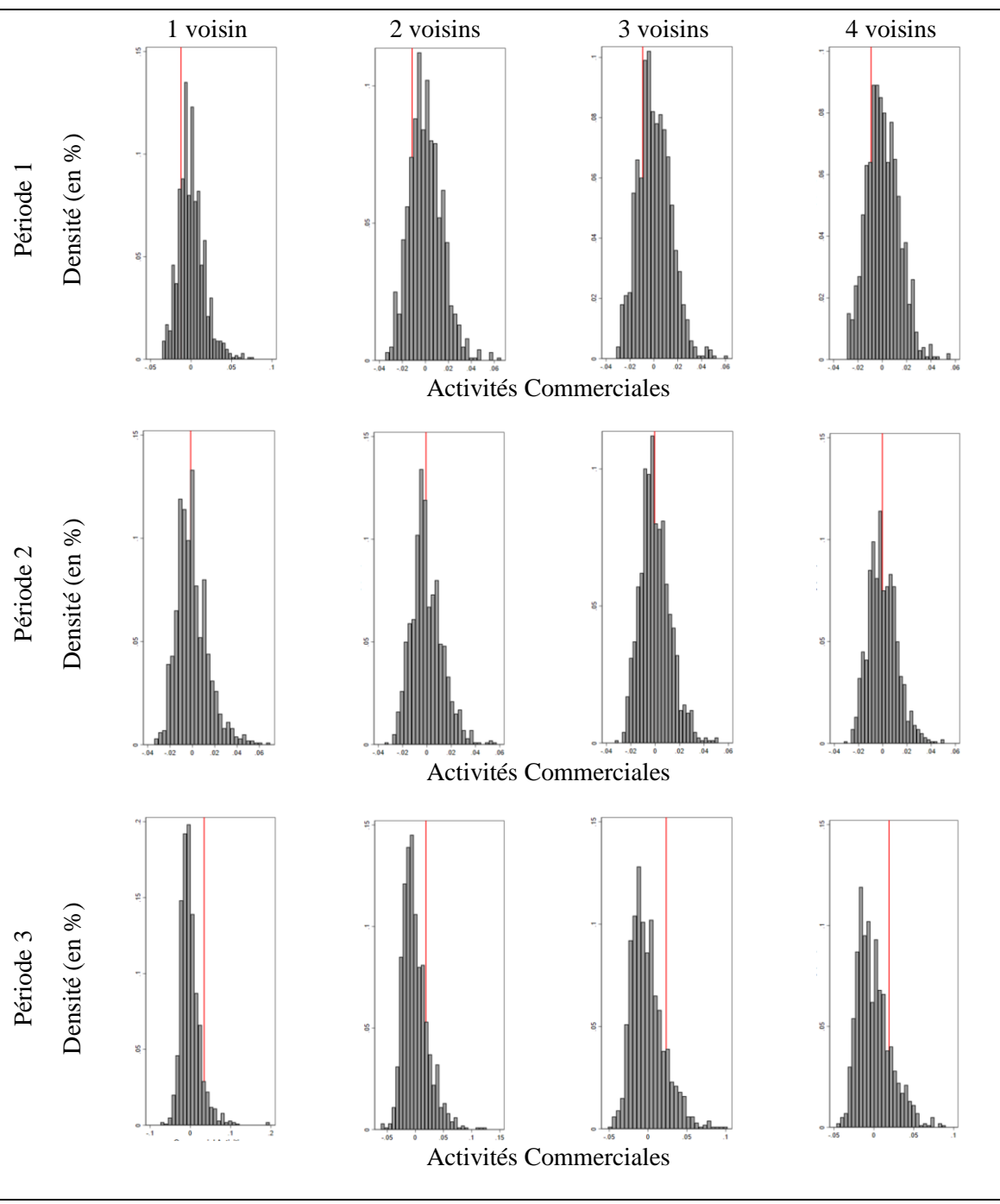
Graphique A2.2 – Test de permutation à distance critique de 500 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



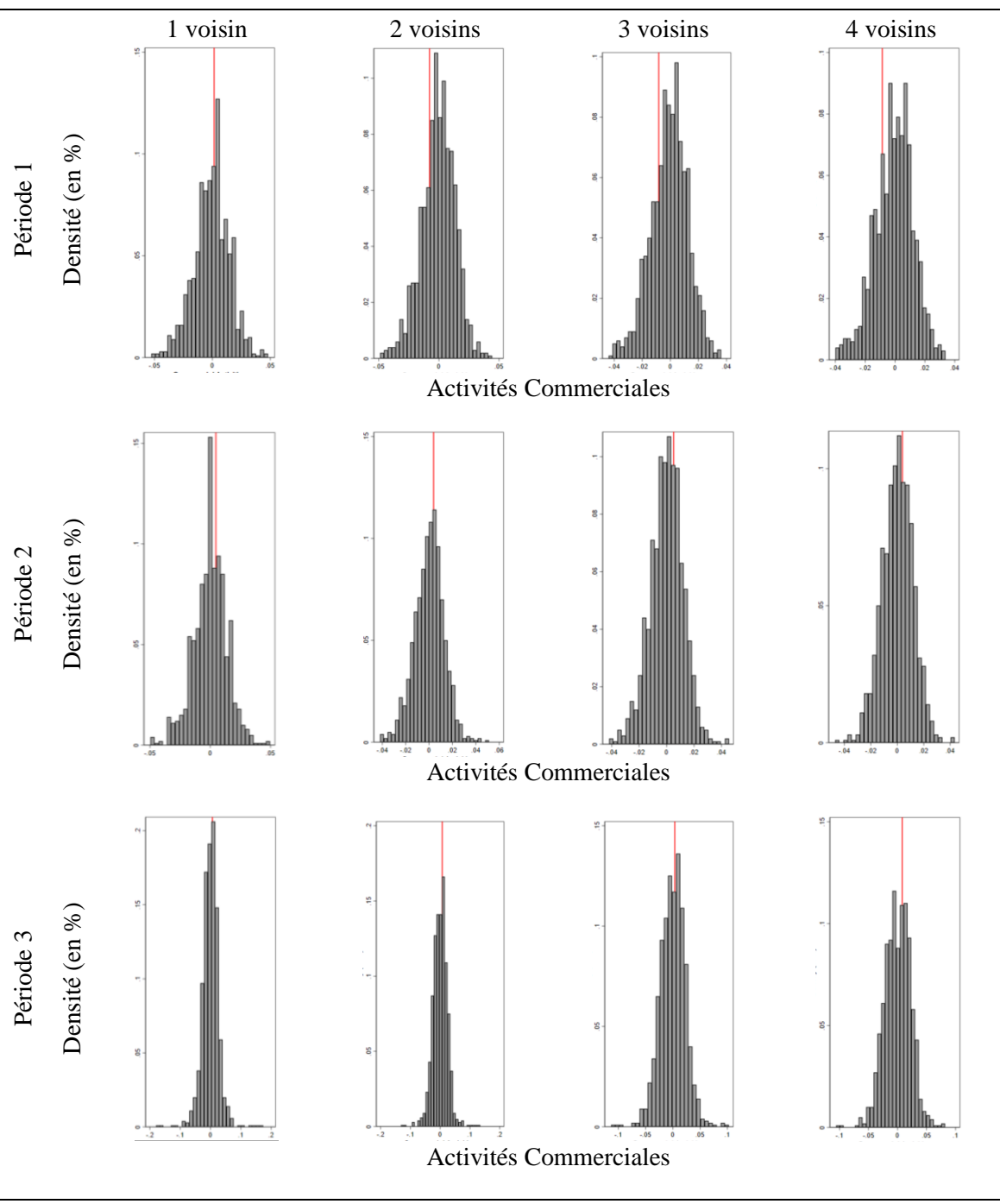
Graphique A2.3 – Test de permutation à distance critique de 750 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



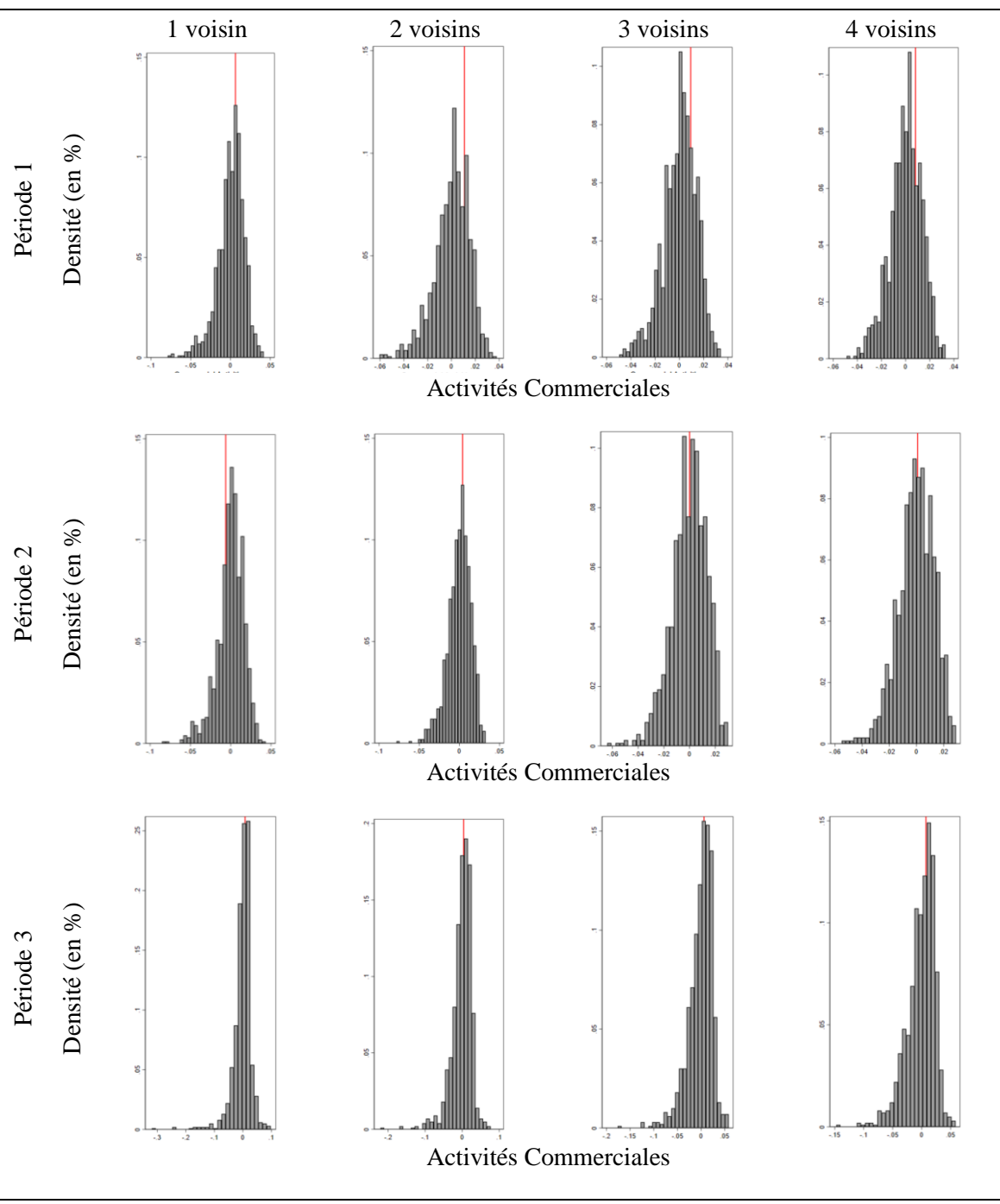
Graphique A2.4 – Test de permutation à distance critique de 1 000 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



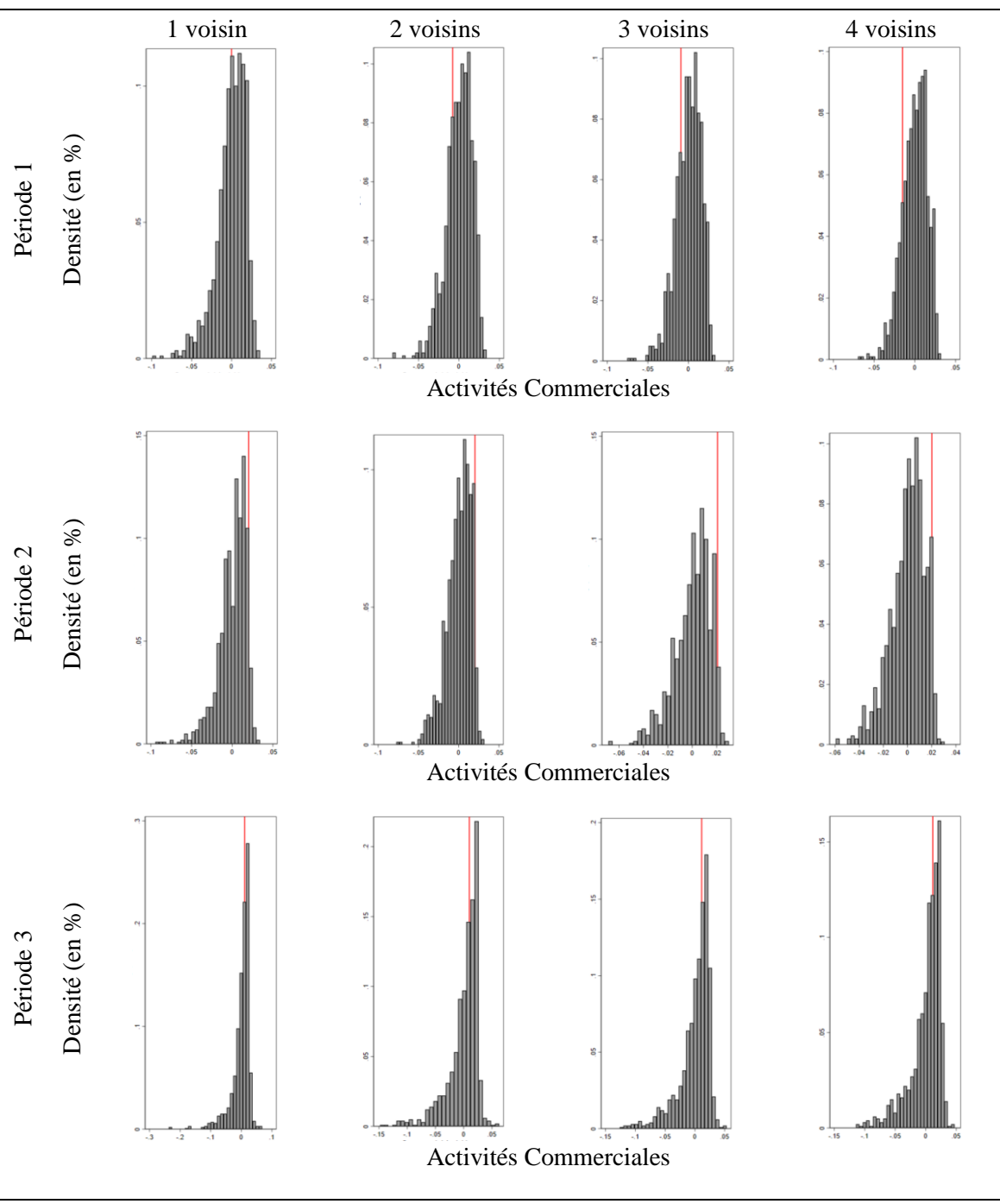
Graphique A2.5 – Test de permutation à distance critique de 1 250 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



Graphique A2.6 – Test de permutation à distance critique de 1 500 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d’étude

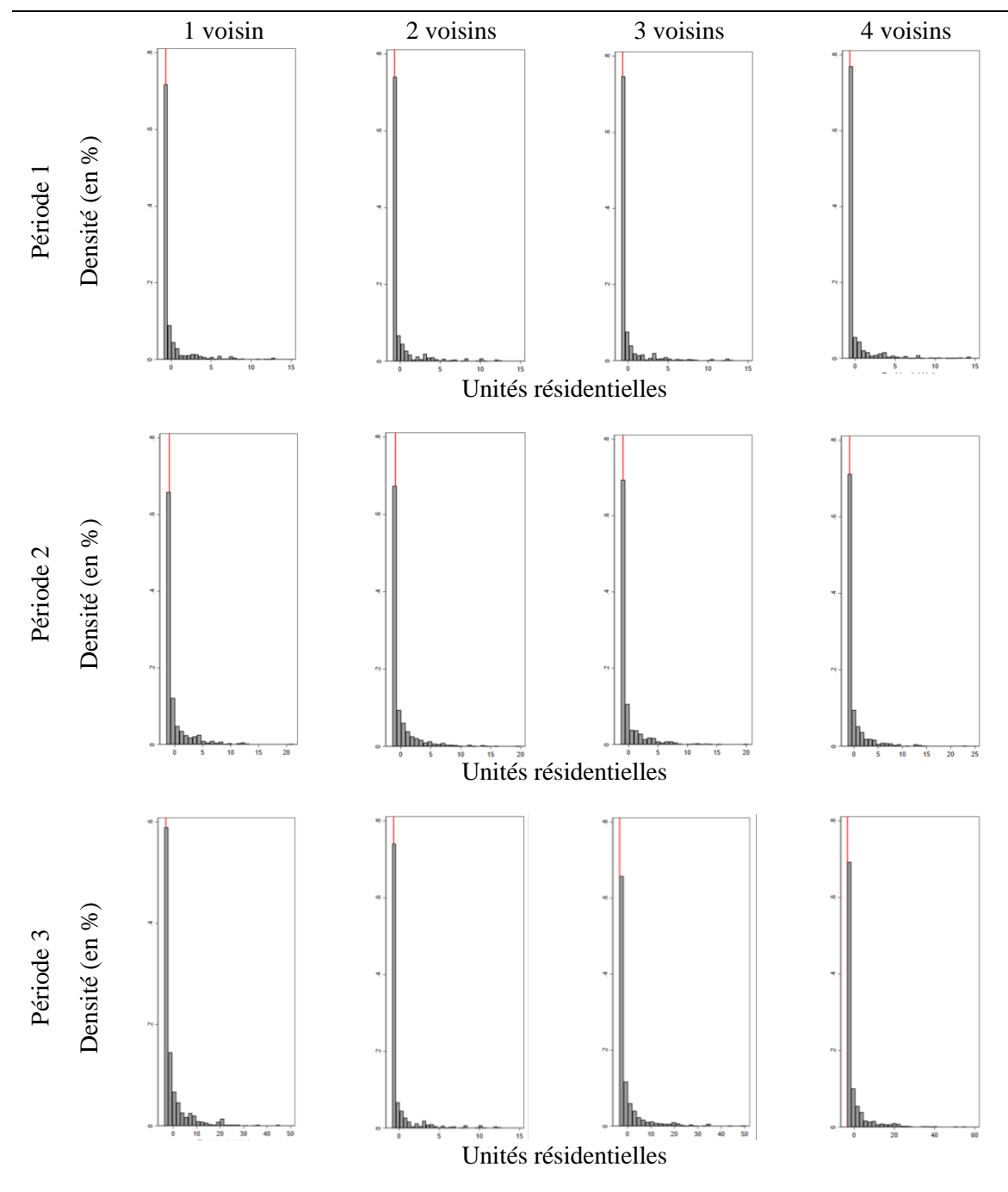


Graphique A2.7 – Test de permutation à distance critique de 1 750 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude

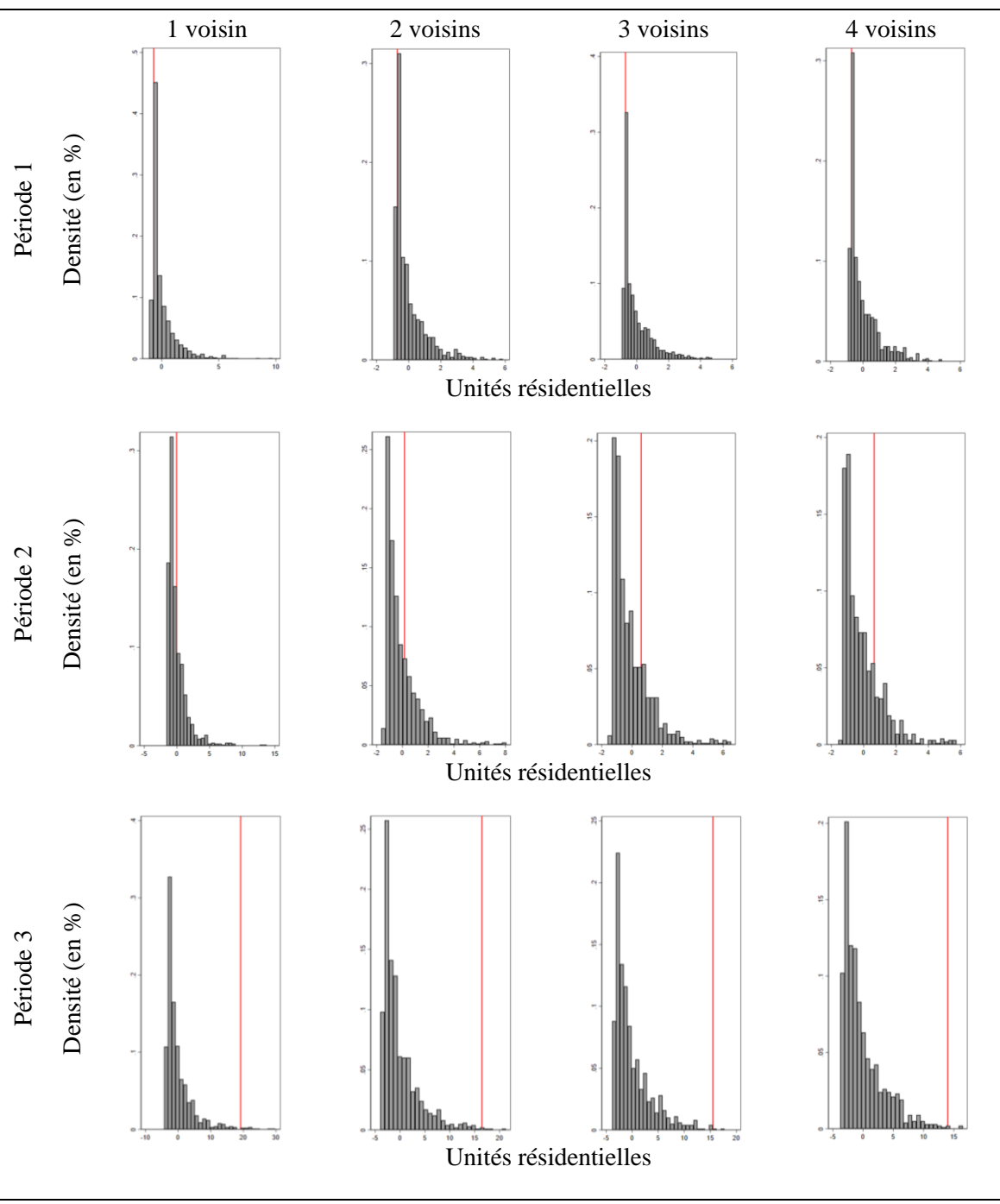


Annexe 3. Distribution de la statistique de test en fonction du nombre de voisins et de la distance critique (Constructions résidentielles)

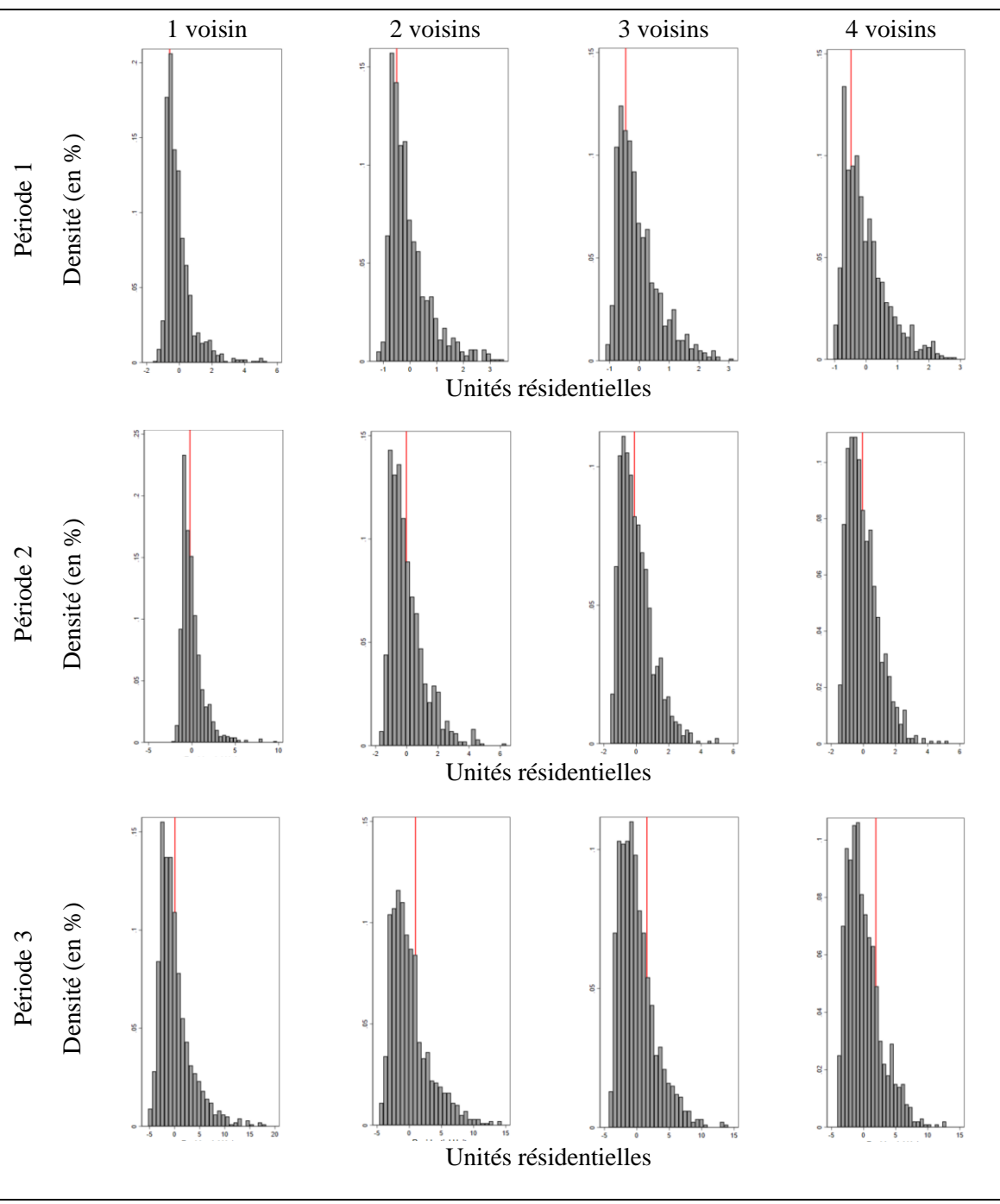
Graphique A3.1 – Test de permutation à distance critique de 250 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



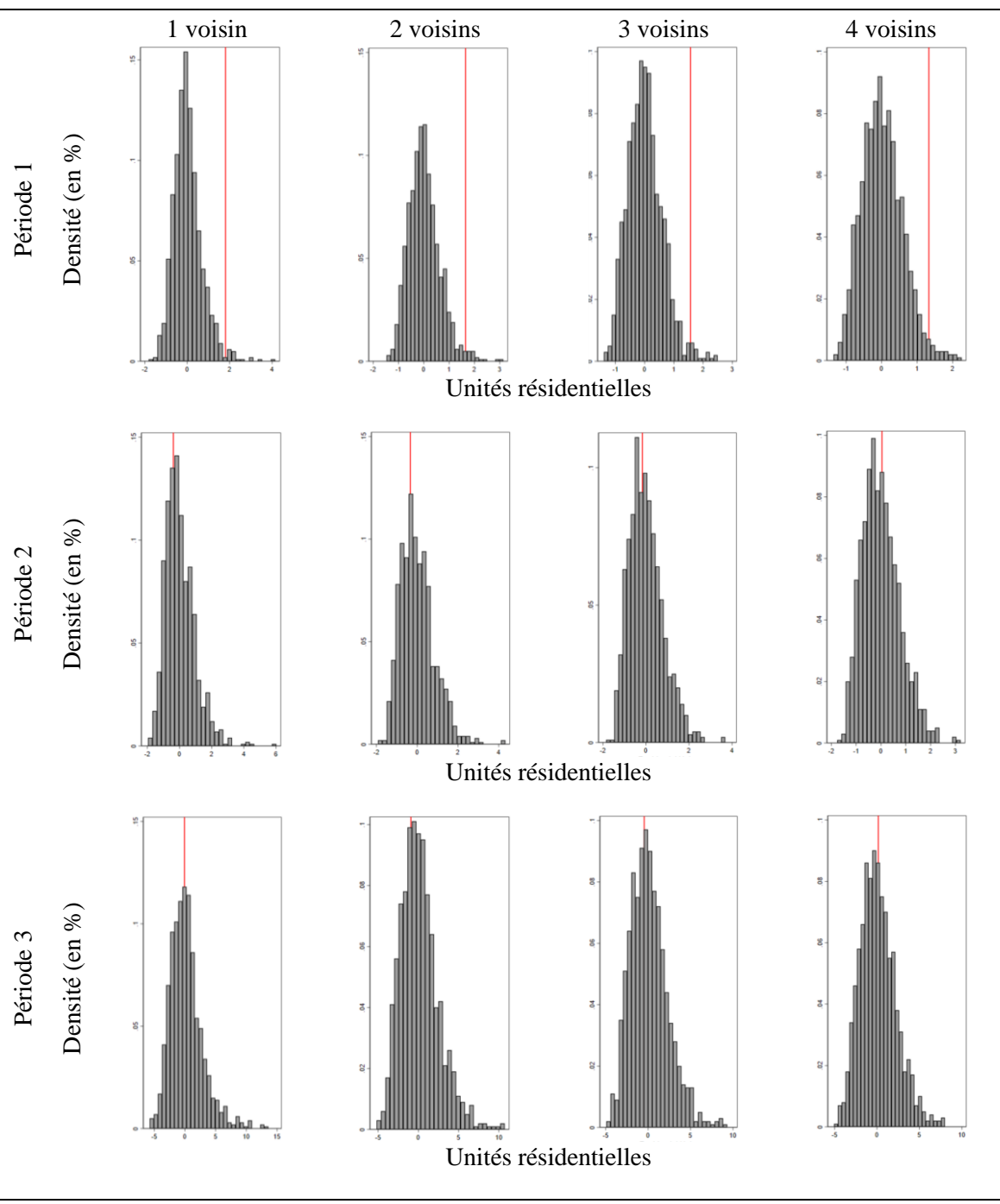
Graphique A3.2 – Test de permutation à distance critique de 500 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d’étude



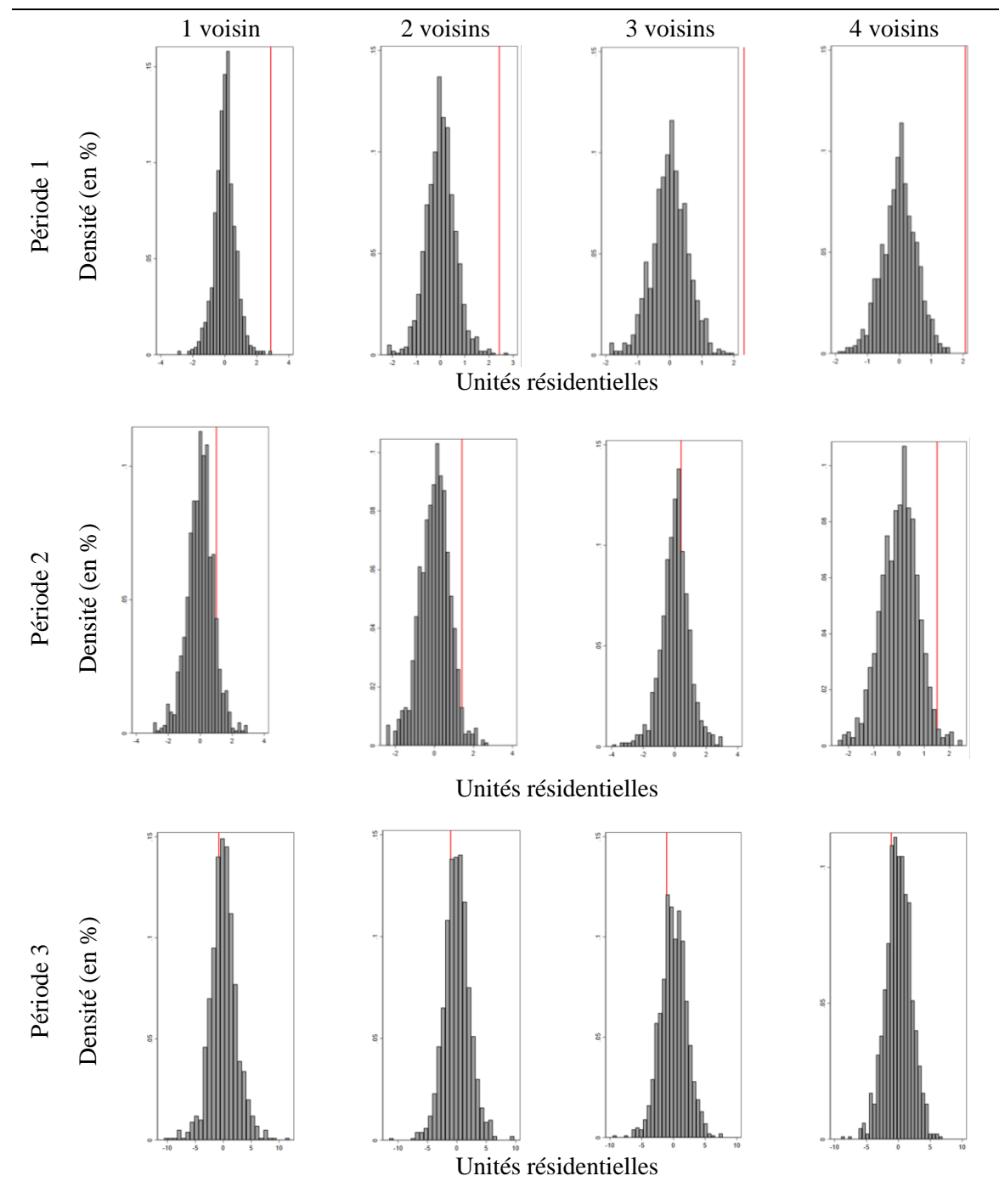
Graphique A3.3 – Test de permutation à distance critique de 750 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d’étude



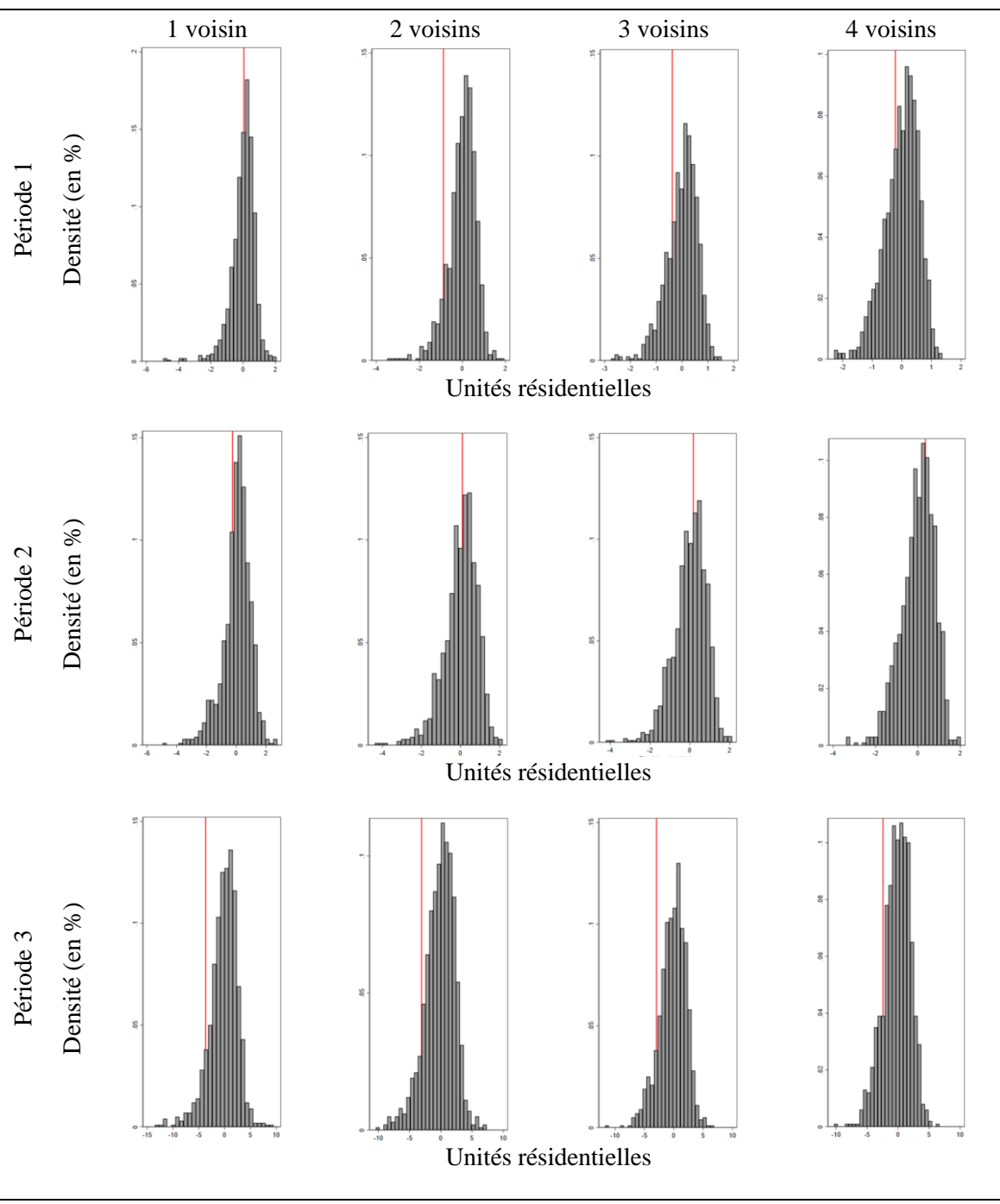
Graphique A3.4 – Test de permutation à distance critique de 1 000 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



Graphique A3.5 – Test de permutation à distance critique de 1 250 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d’étude



Graphique A3.6 – Test de permutation à distance critique de 1 500 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d'étude



Graphique A3.7 – Test de permutation à distance critique de 1 750 mètres, selon le nombre de voisins sélectionné et la période d’étude

