

Titre	Bonification des données Pm23 à travers l'intégration de variables en lien avec l'environnement bâti : état de l'art et méthodologie
Expéditeur	Thomas Audrin, Équipe Perspectives mobilité
Date	2025-10-03

Table des matières

Introduction	2
1. Revue de la littérature : les principales dimensions de l'environnement bâti	3
1.1. Les 3D de Cervero et Kockelman (1997)	3
1.2. L'élargissement aux 5D (Ewing et Cervero, 2001).....	4
1.3. L'évolution vers les 7D (Ewing et Cervero, 2010)	4
1.4. Quelques exemples d'application.....	4
2. Méthode	5
2.1. Échelle d'analyse	5
2.2. Définition de l'aire d'influence de l'environnement bâti	6
2.3. Sélection des variables et indicateurs	8
2.4. Calcul des variables et indicateurs	12
2.5. Lien avec le fichier d'enquête Pm23.....	15
Références:.....	16

Introduction

L'environnement bâti désigne l'ensemble des composantes physiques d'un espace façonné par l'activité humaine. Il renvoie plus précisément à l'organisation spatiale et fonctionnelle des milieux urbains, incluant la densité d'occupation, la mixité des usages, la connectivité du réseau viaire, ainsi que la présence d'infrastructures destinées aux piétons et aux cyclistes. Cet environnement structure de manière significative les comportements de déplacement des individus. De nombreuses recherches ont examiné les relations entre ses caractéristiques et diverses dimensions de la mobilité, notamment les choix de mode de transport, la fréquence des déplacements ou encore les distances parcourues (Cervero and Kockelman 1997; Handy et al. 2002; Saelens et al. 2003; Badland and Schofield 2005; Ewing and Cervero 2010; Zhang et al. 2014; Ding et al. 2017; Park et al. 2018; De Gruyter et al. 2020; Eldeeb et al. 2021).

Dans un contexte où les villes cherchent à favoriser une mobilité plus durable, il est essentiel de comprendre comment les caractéristiques du cadre urbain influencent les comportements de déplacement, afin d'orienter plus efficacement les politiques d'aménagement. La caractérisation du cadre urbain est généralement réalisée en milieu académique, mais aussi par divers organismes publics souhaitant développer des modèles de génération de déplacements ou de choix modaux. Néanmoins, ces derniers se heurtent, d'une part, à l'absence de coordonnées géographiques détaillées dans les données d'enquête accessibles hors partenaires (ARTM, MTMD, CMM, STM, STL, RTL, exo) – afin de préserver la confidentialité et de réduire le risque résiduel de réidentification des personnes ou ménages –, ce qui limite la possibilité de recalculer ou de personnaliser certains indicateurs, et d'autre part, à des étapes de préparation qui, bien que répétitives, demeurent nécessaires et chronophages. C'est dans cette logique que s'inscrit l'enrichissement du jeu de données de l'enquête Perspective mobilité 2023 (Pm23) par l'ajout de variables et d'indicateurs décrivant l'environnement bâti. Reconnus dans la littérature scientifique, ces indicateurs visent à mesurer plus finement l'effet de facteurs tels que la densité, la mixité fonctionnelle ou l'accessibilité sur les dynamiques de déplacement.

L'objectif principal de ce travail est de mettre à la disposition des utilisateurs de l'enquête Pm23 un ensemble de variables additionnelles, directement exploitables, issues de traitements réalisés sur des données spatiales à échelle fine. En proposant un standard de description de l'environnement bâti, nous simplifions le travail des utilisateurs, réduisons le temps consacré à la production de ces variables et limitons les risques d'erreurs lors de leur caractérisation ou de leur intégration aux données de Pm23. Cette information est fournie à titre volontaire, laissant à chacun la liberté de développer ses propres indicateurs au besoin¹.

Le présent document se compose de deux parties. La première offre un aperçu du cadre conceptuel, structuré autour des différentes dimensions de l'environnement bâti susceptibles d'influencer les comportements de déplacement. La deuxième partie décrit l'approche méthodologique, en précisant l'unité spatiale d'analyse, les variables et indicateurs retenus, ainsi que les méthodes de calcul employées. Enfin, la dernière

¹ Le cas échéant, nous pourrions accompagner les utilisateurs pour recalculer ces indicateurs.

section aborde les modalités de mise en correspondance entre ces données et celles de l'enquête Pm23.

1. Revue de la littérature : les principales dimensions de l'environnement bâti

La littérature empirique, en grande partie issue du monde anglo-saxon, a progressivement mis en évidence le rôle structurant de l'environnement bâti sur les comportements de déplacement, notamment en ce qui concerne le choix modal. Les premières recherches, menées aux États-Unis dans les années 1960, portaient principalement sur des caractéristiques telles que la taille ou l'âge des villes, ainsi que la densité de population. Toutefois, des travaux ultérieurs ont remis en question la pertinence de certaines de ces mesures, la densité en particulier, dont le pouvoir explicatif demeure limité lorsqu'elle est mobilisée dans des modèles de simulation des comportements de mobilité (Zegras 2005).

Afin de dépasser ces limites, la recherche a progressivement adopté, à partir des années 1990, un cadre conceptuel plus élaboré, structuré autour de plusieurs dimensions de la forme urbaine, communément désignées comme les *D*. La littérature s'accorde sur le fait que ces dimensions représentent les principales catégories permettant de caractériser l'environnement bâti. Proposé initialement par Cervero and Kockelman (1997), ce cadre n'a cessé d'être enrichi pour mieux saisir la complexité des interactions entre morphologie urbaine et mobilité. Les différentes dimensions qui le composent sont présentées dans les sections suivantes.

1.1. Les 3D de Cervero et Kockelman (1997)

Pour poser les bases de ce cadre conceptuel, Cervero and Kockelman (1997) ont proposé une première typologie en trois composantes, souvent désignée comme les « 3D » (*density, diversity, design*). Ces trois dimensions clés permettent d'analyser l'influence de l'environnement bâti sur les comportements de déplacement. Ces dernières sont :

- **Densité** (*Density*): Cette dimension fait référence à la concentration spatiale de population, de logements, d'emplois ou d'activités dans un secteur donné. Elle est généralement définie comme une mesure du nombre d'individus par unité de surface ou du nombre d'emplois par zone (Litman 2024).
- **Diversité** (*Diversity*): Cette dimension fait référence à la mixité fonctionnelle, c'est-à-dire à la coexistence de différents usages du sol dans un même secteur (résidentiel, commercial, institutionnel, etc.). Elle est généralement mesurée à l'aide d'un indice d'entropie, la méthode la plus couramment utilisée pour évaluer à la fois la combinaison des usages du sol et l'équilibre relatif de ces usages dans une zone donnée (Ewing and Cervero 2010). Un autre indicateur couramment utilisé est le ratio emplois-logements (emploi total divisé par le nombre total de logements occupés) (Litman 2024).
- **Design** (*Design*) : Cette dimension renvoie à la configuration du tissu urbain, notamment la forme des intersections, la structure du réseau viaire, ainsi que la

présence d'infrastructures routières et d'aménagements pour piétons et cyclistes. Par exemple, plusieurs méthodes permettent d'évaluer la connectivité d'un réseau (ex. route ou rue), notamment un indice calculé en divisant le nombre de segments d'un (liens) d'une zone donnée par le nombre d'intersections (nœud) (Litman 2025).

1.2. L'élargissement aux 5D (Ewing et Cervero, 2001)

Afin de mieux cerner les déterminants du choix modal, Ewing and Cervero (2001) ont proposé d'ajouter deux dimensions au cadre initial (*destination accessibility, distance to transit*), donnant naissance au modèle des « 5D » :

- **Accessibilité aux destinations** (*Destination accessibility*) : Cette dimension mesure l'accessibilité à différents types de services (commerces, écoles, récréatifs, etc.) depuis une localisation donnée (par exemple, le lieu de résidence). L'accessibilité est généralement évaluée en fonction de la distance ou du temps de déplacement nécessaires pour atteindre certains services ou destinations à partir d'un point d'origine, et ce, selon le mode de transport considéré (marche, vélo, transport collectif ou automobile) (Litman 2025).
- **Distance à l'infrastructure de transport collectif** (*Distance to transit*) : Cette dimension renvoie à l'accessibilité spatiale aux réseaux de transport en commun (par exemple, arrêts d'autobus, stations de métro ou gares ferroviaires). Elle est généralement mesurée à partir d'indicateurs tels que la distance séparant un lieu de résidence ou d'activité de la station ou de l'arrêt le plus proche, ou encore par le nombre d'arrêts et de stations accessibles à proximité.

1.3. L'évolution vers les 7D (Ewing et Cervero, 2010)

Plus récemment, ce cadre d'analyse a été élargi par l'ajout de deux dimensions supplémentaires — les caractéristiques sociodémographiques des usagers (*demographics*) et les mesures de gestion de la demande (*demand management*) — afin de mieux tenir compte à la fois du profil des individus et des politiques publiques en matière de mobilité, portant ainsi le modèle aux « 7D » (Ewing and Cervero 2010). Il convient de souligner que ces deux dernières dimensions servent principalement de variables de contrôle, puisqu'elles ne relèvent pas directement de l'environnement bâti. Elles ne seront donc pas abordées dans la présente analyse.

- **Démographie** (*Demographics*) : Cette dimension intègre les caractéristiques sociodémographiques (âge, revenu, composition du ménage, etc.) qui influencent les préférences modales et la capacité d'adaptation des individus à leur environnement.
- **Gestion de la demande** (*Demand Management*) : Cette dimension renvoie à l'ensemble des politiques visant à orienter la demande de déplacements (ex. tarification, régulation du stationnement, incitatifs au covoiturage). Ces mesures peuvent accentuer ou atténuer les effets de l'environnement bâti sur les comportements de mobilité.

1.4. Quelques exemples d'application

Bien que des débats subsistent quant à la nature de la relation entre les attributs de la forme urbaine et les comportements de déplacement — notamment en ce qui concerne

son intensité — de nombreuses recherches ont néanmoins confirmé la pertinence et la robustesse du cadre conceptuel des *D* pour l'analyse des comportements de mobilité. De nombreux chercheurs s'accordent à dire qu'une plus grande densité urbaine et une meilleure mixité des usages tendent à réduire la part modale de l'automobile. À Seattle, aux États-Unis, (Khan et al. 2014) ont montré que la densité des intersections (nombre d'intersections à trois et quatre voies dans un rayon d'un demi-mile) contribue à réduire les déplacements motorisés. De plus, une densité plus élevée d'arrêts de bus et un meilleur accès aux modes non motorisés sont associés à une diminution de la possession de véhicules et à une augmentation des déplacements à pied ou à vélo. La méta-analyse d'Ewing et Cervero 2010 montre que la pratique des modes actifs (marche et vélo) est fortement associée à la diversité des usages, à la connectivité du réseau viaire, à la présence de destinations accessibles à distance de marche et au potentiel piétonnier de l'environnement bâti. Plus récemment, une méta-analyse réalisée par Aston et al. (2021) met en évidence que le cadre bâti exerce une influence positive, bien que modeste, sur l'usage du transport collectif. Les effets les plus importants concernent la mixité des usages, la connectivité piétonne et l'équilibre emplois-logements, tandis que la densité joue un rôle plus limité. Ces travaux illustrent l'influence de l'environnement bâti sur les comportements de mobilité. À partir de ces constats, la section suivante présente notre démarche méthodologique, en précisant le choix des variables et le calcul des indicateurs correspondant à chacune des dimensions retenues.

2. Méthode

Comme indiqué en introduction, l'objectif de ce travail est de fournir aux utilisateurs de l'enquête Pm23 un ensemble de variables additionnelles, facilement exploitables, liées aux caractéristiques de l'environnement bâti. Pour ce faire, nous présentons dans la section suivante l'unité spatiale utilisée, les variables et indicateurs retenus, ainsi que les traitements effectués.

2.1. Échelle d'analyse

Afin d'analyser l'effet local de l'environnement bâti, nous avons choisi une unité spatiale suffisamment petite pour limiter certains biais. Le choix de l'unité spatiale est en effet crucial. De nombreuses études utilisent des zones administratives, comme les secteurs de recensement, mais ces unités sont souvent trop larges, de tailles inégales et avec des géométries variées pour capter les variations de la forme urbaine (Frank et al. 2008). Ce problème est connu sous le nom de *Modifiable Area Unit Problem* (MAUP) (Openshaw 1984) : les résultats peuvent varier selon la taille ou la forme des unités spatiales utilisées, ce qui affecte la robustesse des analyses. Des travaux antérieurs dans le domaine du transport ont notamment souligné que les modèles d'utilisation du sol calculés à différentes échelles géographiques peuvent produire des estimations contradictoires (Krizek 2003). Par ailleurs, comme le montre l'étude de Clark et Scott (2014) le choix de l'échelle d'analyse influence significativement les relations observées entre les déplacements actifs et l'environnement bâti.

Pour réduire ce biais, plusieurs travaux privilégient l'utilisation d'unités spatiales homogènes et régulières, telles que des grilles de taille constante (par exemple, des pixels), qui permettent de mieux saisir les conditions locales. Dans ce travail, nous avons choisi une maille de 250 m × 250 m comme unité spatiale d'analyse. Ce choix offre une

meilleure résolution spatiale et s'inscrit dans la continuité de travaux internes antérieurs, notamment ceux consacrés à la production d'indicateurs d'accessibilité. Ainsi, notre analyse se base sur des pixels de 250 m × 250 m, plutôt que le découpage par secteurs de pondération (SP) de l'enquête Pm23, afin de mieux capter les variations locales et réduire les biais liés à la taille des zones. De plus, cette maille est compatible avec d'autres données utilisées à l'ARTM telles que la population et les emplois désagrégés, et d'autres indicateurs d'accessibilité.

2.2. Définition de l'aire d'influence de l'environnement bâti

Pour étudier l'influence des caractéristiques de l'environnement bâti sur les comportements de déplacement, le lieu de résidence est le plus souvent utilisé comme point de référence. Ce choix repose sur le fait que les individus passent la plus grande partie de leur temps dans cet environnement, lequel constitue généralement le point de départ de leurs déplacements quotidiens. D'autres recherches font le choix d'analyser à la fois les environnements bâtis des zones résidentielles (l'origine) et des zones de travail (la destination) (Chen et al. 2008; Ding et al. 2017) ou des destinations visitées (Harding et al. 2012; 2015). Toutefois, dans ce travail, les variables et indicateurs ont été calculés sur l'ensemble du territoire de l'enquête Perspective mobilité 2023 (Pm23), à partir d'une grille régulière de 250 m × 250 m, sans distinguer systématiquement les lieux d'origine et de destination des déplacements. Ces informations pourront ensuite être associées aux données de l'enquête Pm23 (par exemple, les ménages et les déplacements) selon les pixels correspondants (comme détaillé dans la dernière section du document).

En complément du choix de la maille d'analyse, un autre aspect méthodologique important concerne la définition de la zone tampon (*buffer*) autour de chaque pixel, qui délimite l'air d'influence des caractéristiques de l'environnement bâti. Il est essentiel de définir une taille de buffer adaptée à l'échelle métropolitaine, tout en tenant compte de la diversité des milieux — des quartiers centraux denses aux zones périurbaines plus étalées. Plusieurs recherches ont mis en lumière l'importance du choix de la taille des zones tampons, qui délimitent l'espace dans lequel l'environnement bâti peut exercer une influence sur les comportements de déplacement (Guerra et al., 2012). Par exemple, Clark et Scott (2014) montrent que la taille et la configuration des zones influencent fortement les relations (les coefficients des variables de l'environnement bâti) entre déplacements actifs et environnement bâti à Halifax, au Canada. Le choix de la taille des zones tampons n'est donc pas seulement pratique, il affecte réellement l'évaluation des effets de l'environnement bâti sur les comportements de mobilité.

Toutefois, la question de la distance optimale à retenir pour ces zones de captage demeure encore floue et fait l'objet de débat (Liu et al. 2023). Certains auteurs estiment que la variation de la taille des zones tampons a un impact limité sur le pouvoir prédictif des modèles sur le comportement des déplacements, notamment la fréquentation des transports en commun (Guerra et al. 2012). D'autres soutiennent au contraire que les effets de l'environnement bâti autour des infrastructures de transport, comme les stations de métro, varient considérablement selon la distance retenue, comme l'ont montré certains travaux menés à Séoul (Jun et al. 2015).

Les études existantes sur les zones tampons en milieu urbain varient considérablement en termes de taille, reflétant la diversité des contextes (urbains denses ou moins denses) et des objectifs méthodologiques (mobilité active, accessibilité aux

services ou au transport collectif, etc.). Certaines études considèrent des zones tampons relativement petites, allant de 400–500 mètres, tandis que d'autres les étendent jusqu'à 800 mètres (0,5 mile) ou 1,6 km (1 mile) (Manaugh and El-Geneidy 2011; El-Geneidy et al. 2014; Choi 2018; Li et al. 2020; Van Soest et al. 2020). Comme indiqué précédemment, la littérature révèle une forte variabilité des distances utilisées pour analyser les comportements de déplacement, sans qu'elles soient généralement fondées sur des résultats empiriques. Seules quelques recherches ont testé plusieurs tailles de zones tampons (euclidiennes ou réticulaires), mais rares sont celles qui justifient véritablement la distance retenue dans leurs modèles (Laviolette 2023).

Une étude récente de Laviolette et al. (2022) a souligné que l'échelle à laquelle sont mesurées les variables de l'environnement bâti (zones tampons) influence le comportement de mobilité, en particulier la probabilité de posséder une voiture. En effet, plusieurs zones tampons de 400 m à 1,6 km, par pas de 200 m, ont été définies autour des ménages, d'abord à partir des centroïdes des aires de diffusion, puis à partir des coordonnées exactes des ménages de l'Enquête Origine-Destination de Montréal (2018). Les résultats révèlent que la densité de population, la diversité des usages et le design ont des effets stables et linéaires sur la motorisation, indépendamment de la taille du buffer.

En revanche, les mesures d'accessibilité — incluant les arrêts de bus, les services d'autopartage et de vélopartage et les commerces — sont très sensibles à l'échelle : leur influence et leur effet sur la possession de voiture varient fortement selon la taille de la zone tampon, avec des effets seuils particulièrement prononcés pour les petites distances (≤ 800 m). Par exemple, les buffers de 400 m captent mieux l'effet de proximité aux arrêts d'autobus, tandis que l'accessibilité aux services de mobilité (autopartage et vélopartage) et aux commerces est mieux représentée par des buffers plus larges, selon la structure des ménages (ménages d'un adulte ou de deux adultes ou plus).

Sur cette base, une distance de 1 km a été retenue pour évaluer la densité, la diversité, le design et l'accessibilité aux destinations, tandis qu'une distance de 400 m est privilégiée pour mesurer l'accessibilité au transport collectif, en particulier pour l'accès aux stations d'autobus.

Dans la littérature, deux approches principales sont généralement utilisées pour évaluer l'environnement bâti. La première consiste à créer des zones tampons radiales ou euclidiennes, en traçant une ligne droite autour d'un point central jusqu'à une distance définie. La seconde utilise des zones tampons basées sur le réseau routier, dites réticulaire, qui prennent en compte la configuration réelle des voies de circulation et des déplacements possibles. Bien que l'approche réticulaire s'avère plus précise et réaliste (Frank et al. 2007; Oliver et al. 2007; Li et al. 2022), nous avons choisi l'approche euclidienne.

Cette option présente l'avantage de réduire significativement le temps de calcul. Compte tenu de l'échelle de notre analyse (grille de 250 m $\times$ 250 m), nous avons choisi de traiter les pixels dans leur intégralité plutôt que de les découper. Cette approche repose sur deux considérations : d'une part, de nombreuses données internes sont déjà disponibles à cette résolution (population, emplois, indicateurs d'accessibilité) ; d'autre part, elle simplifie le traitement des données et limite les sources d'erreurs, telles que celles pouvant résulter d'interpolations spatiales.

2.3. Sélection des variables et indicateurs

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe plusieurs dimensions qui constituent un cadre structurant permettant d'identifier les caractéristiques de l'environnement bâti susceptibles d'influencer les comportements de déplacement. Dans ce travail, nous nous concentrons principalement sur les cinq premières dimensions, à savoir la densité, la diversité, le design, l'accessibilité aux destinations et la distance au transport collectif. En nous appuyant sur la littérature existante, le tableau 1 ci-dessous présente une sélection des variables et indicateurs mobilisés dans notre travail, regroupées selon ces différentes dimensions.

1 **Tableau 1** Liste des variables et indicateurs utilisés pour caractériser l'environnement bâti

Dimensions	Éléments	Variables	Description	Sources
Densité	Caractéristiques résidentielles et d'emploi	Nombre de personnes	Population totale résidant dans l'aire d'influence.	Recensement de Statistique Canada (2021)
		Nombre de logements	Nombre total de logements dans l'aire d'influence.	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), Rôle d'évaluation foncière (2025)
		Nombre d'emplois	Nombre total d'emplois dans l'aire d'influence.	Recensements de Statistique Canada : 1996, 2001, 2006, 2011 et 2016. ²
Diversité	Occupation du sol	Superficie totale	Superficie terrestre dans l'aire d'influence (en km ²).	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), Usage prédominant 2021
		Superficie résidentielle	Surface totale occupée par des bâtiments à usage résidentiel (en km ²) dans l'aire d'influence.	
		Indice de mixité des usages (indice d'entropie)	Indice qui varie de 0 à 1 ; plus il est élevé, plus la mixité des usages est importante. Le calcul inclut 6 catégories d'usage : résidentiel, commercial, institutionnel, loisirs/parcs et services. Les catégories jugées moins pertinentes pour caractériser les déplacements quotidiens — telles que l'industrie, l'agriculture, les friches et mines, ainsi que les infrastructures de transport — sont regroupées sous la catégorie Autre . L'indice d'entropie est calculé à partir des proportions de surface occupée par chaque catégorie d'usage du sol dans l'aire d'influence et normalisé de manière à produire un indice compris entre 0 et 1. La formule d'entropie est dérivée de Cervero et Kockelman (1997).	
Design	Réseau routier	Nombre d'intersections	Nombre total d'intersections impliquant plusieurs types de voies (autoroutes, artérielles, collectrices, nationales, régionales et locales) ³ dans l'aire d'influence.	Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) - Adresses Québec (AQpro, 2025)

² Les données d'emplois du recensement de Statistique Canada de 2021 comportent des biais. La principale raison pour laquelle les données sur l'emploi de 2021 sont difficiles à exploiter réside dans une mauvaise compréhension des questions liées au télétravail par les répondants. Par exemple, bien que l'emploi régional ait légèrement progressé en 2021, la densité d'emploi a été divisée par quatre dans plusieurs aires de diffusion du centre-ville (Montréal). Des projections d'emplois ont donc été estimées à l'échelle des pixels. Les projections reposent sur les séries de données d'emploi de Statistique Canada couvrant la période 1996-2016. Un modèle tendanciel a été élaboré en intégrant plusieurs facteurs explicatifs (rôle foncier, infrastructures, variables spatiales et temporelles). Ce modèle a permis d'estimer les valeurs attendues pour 2021 à l'échelle des zones d'analyse de transport (ZAT). Les estimations ont ensuite été désagrégées à l'échelle du pixel.

³ **Les artères** sont des voies permettant la circulation de transit sur de longues distances et la desserte des propriétés adjacentes. Elles comportent souvent quatre voies, avec des intersections généralement régulées par des feux de circulation. **Les routes collectrices** relient les centres ruraux et les concentrations de population aux centres voisins. Elles assurent la circulation de transit, la desserte des propriétés et l'accès aux équipements locaux. **Nationale** : Grands axes reliant les principales agglomérations (≥25 000 hab.), corridors touristiques majeurs et accès aux aéroports, ports et traverses d'importance nationale ou internationale. **Régionale** : Routes reliant les agglomérations secondaires (5 000–25 000 hab.) entre elles et aux principales, desservant les centres ruraux industriels, stations touristiques et accès aux infrastructures régionales. **Route locale** : Une route dont la fonction principale est de desservir les zones résidentielles et de permettre l'accès aux propriétés. En général, les routes locales se connectent aux routes collectrices ou aux artères, et leurs intersections sont gérées par des arrêts.

		Longueur des tronçons routiers	Longueur totale des tronçons routiers présents dans l'aire d'influence, exprimée en mètres, toutes classifications confondues (autoroutes, nationales, régionales, collectrices et locales), en mètres. En raison de certaines caractéristiques géométriques, notamment sur les voies artérielles et collectrices (par exemple la présence de terre-pleins centraux), certaines sections peuvent être comptées en double, entraînant une légère surestimation de la longueur totale du réseau.	
		Longueur des tronçons autoroutiers	Longueur totale des tronçons autoroutiers dans l'aire d'influence, en mètres. Les autoroutes sont des voies de circulation rapide à accès limité, ne comportant, sauf exception, aucun croisement à niveau.	
		Longueur des tronçons hors autoroutes	Longueur totale des tronçons non autoroutiers dans l'aire d'influence, en mètres.	
	Réseau cyclable	Longueur de voies cyclables	Longueur totale des tronçons de pistes et voies cyclables aménagées dans l'aire d'influence, en mètres.	Réseau cyclable de Vélo Québec (2023)
Accessibilité aux destinations	Accessibilité aux services et équipements	Indicateur d'accessibilité aux emplois	L'indicateur d'accessibilité à l'emploi mesure l'accès aux emplois via le transport collectif par rapport à l'automobile sur une journée complète (entre 6h et 21h). Il calcule le ratio des emplois accessibles en transport collectif par rapport à ceux accessibles en voiture dans un délai de 45 minutes. Pour plus de précision sur la méthode de calcul au niveau du pixel, veuillez consulter la note technique de Jérémy Gelb.	ARTM (2023)
		Nombre de commerces alimentaires	Nombre total d'épiceries présentes dans l'aire d'influence.	Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), 2021.
		Nombre de points d'intérêt (POI)	Nombre de points d'intérêts (POI) représente le total des points d'intérêt présents dans l'aire d'influence. Les données proviennent de HERE (2022) et portent sur les catégories suivantes : restauration, magasinage, divertissement, tourisme, services publics et communautaires, automobile et services financiers	HERE, 2022
		Nombre d'établissements d'enseignement	Nombre total des établissements d'enseignement supérieur, écoles, centres ou instituts de formation, ainsi que des garderies subventionnées présents dans l'aire d'influence. Cette mesure inclut le bâtiment administratif principal de chaque établissement.	
Distance au transport collectif	Accessibilité aux services de transport collectif	Nombre de stations d'autobus dans un rayon de 400 m	Nombre total d'arrêts d'autobus situés dans l'aire d'influence de 400 m.	GTFS – STM, STL, RTL et Exo (novembre 2023)
		Nombre de stations d'autobus dans un rayon de 1 km	Nombre total d'arrêts d'autobus situés dans l'aire d'influence de 1 km.	GTFS – STM, STL, RTL et Exo (novembre 2023)
		Nombre de stations de métro	Nombre total de stations de métro et du REM présentes dans l'aire d'influence.	STM (2022) et CDPQ Infra (2023)

		Nombre de stations de train	Nombre total de stations de trains de banlieue présentes dans l'aire d'influence.	GTFS – Exo (2022)
		Indicateur d'accessibilité en transport collectif	L'indicateur d'accessibilité au transport collectif estime le nombre de passages, tous modes et directions confondus, accessibles depuis un point donné (au centre de chaque pixel de 250 × 250 m) au cours d'une journée complète (entre 6 h et 21 h). Il reflète ainsi le nombre d'options de transport collectif immédiatement disponibles dans chaque zone. Pour plus de précision sur la méthode de calcul au niveau du pixel, veuillez consulter la note technique de Jérémy Gelb.	ARTM (2023)

2

2.4. Calcul des variables et indicateurs

Dans cette section, nous décrivons les principales étapes de calcul des variables présentées dans le tableau 1. Avant de détailler chaque calcul, nous présentons notre approche pour la définition de l'aire d'influence.

Définition de l'aire d'influence

Dans ce travail, les variables et indicateurs ont été calculés sur l'ensemble du territoire d'enquête à partir d'une grille régulière de 250 m × 250 m, sans distinction systématique entre lieux d'origine et de destination. Ces informations pourront ensuite être associées aux données de l'enquête Pm23 selon les cellules (ou pixels) correspondants. Soulignons que les cellules entièrement situées sur des étendues d'eau (fleuve, lacs, rivières, etc.) sont exclus. Enfin, des aires d'influence sont calculées à partir de matrices de voisinage de 1 km et 400 m (figure 1), permettant de prendre en compte l'effet des environs proches et immédiats sur chaque cellule de la grille, à l'exception de certaines variables, comme les indicateurs d'accessibilité aux emplois et au transport collectif, qui sont calculés au niveau du pixel. Soulignons que nous considérons les cellules dont le centroïde se trouve à l'intérieur de l'aire d'influence d'un pixel, comme illustré ci-dessous (figure 1).

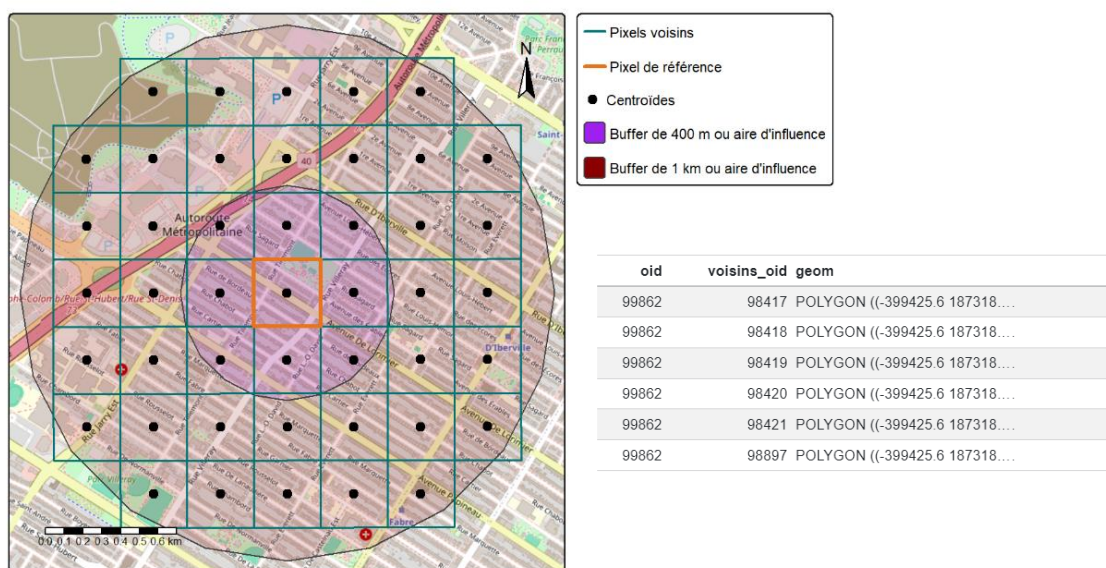


Figure 1. Exemple d'une aire d'influence et de sa matrice de voisinage.

Méthodes de calcul des variables pour l'aire d'influence

Pour chaque aire d'influence, les variables sont généralement calculées en croisant les différentes couches thématiques. À l'exception de certains indicateurs, tels que l'indice d'entropie et les indicateurs d'accessibilité, la méthode consiste à compter, pour chaque pixel, les éléments présents dans tous les pixels de son aire d'influence, puis à additionner ces valeurs et à les attribuer au pixel de référence. Pour les variables de type surfacique ou linéaire, la logique est similaire : les valeurs sont additionnées et attribuées au pixel de référence. Les méthodes spécifiques de calcul pour chacune des variables sont présentées ci-dessous.

30 Densité

31 *Nombre de personnes* : Somme des résidents présents dans l'aire d'influence de chaque
 32 pixel (rayon de 1 km). Elle est calculée à partir des données de la population du
 33 recensement de Statistique Canada de 2021, désagrégées au niveau du pixel.

34 *Nombre de logements* : Décompte des unités résidentielles localisées dans l'aire
 35 d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km). La couche utilisée est de type ponctuel et
 36 contient, pour chaque unité d'évaluation, des informations telles que le nombre de
 37 logements, le type de bâtiment (résidentiel, industriel, etc.) et la surface de plancher du
 38 bâtiment principal. Dans un premier temps, nous avons exclu les bâtiments construits
 39 après 2021 afin d'assurer une meilleure concordance avec les données de population du
 40 Recensement de Statistique Canada 2021. Nous avons ensuite filtré les bâtiments de type
 41 résidentiel et effectué la somme du nombre de logements pour déterminer le nombre de
 42 logements correspondant à chaque point.

43 *Nombre d'emplois projetés* : Somme des emplois projetés localisés dans l'aire
 44 d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km). Les projections reposent sur les séries de
 45 données d'emploi de Statistique Canada couvrant la période 1996-2016. Un modèle
 46 tendanciel a été élaboré en intégrant plusieurs facteurs explicatifs (rôle foncier,
 47 infrastructures, variables spatiales et temporelles). Ce modèle a permis d'estimer les
 48 valeurs attendues pour 2021 à l'échelle des zones d'analyse de transport (ZAT). Les
 49 estimations ont ensuite été désagrégées à l'échelle du pixel. Il convient de souligner que
 50 les données du recensement de 2021 de Statistique Canada ne sont pas utilisables en
 51 raison d'un biais lié aux effets du télétravail.

52 *Nombre d'emplois (2016)* : Somme des emplois dans l'aire d'influence de chaque pixel
 53 (rayon de 1 km). Ces données sont issues du recensement de Statistique Canada de
 54 2016, désagrégées au niveau du pixel.

55 Diversité

56 *Superficie totale* : Superficie terrestre dans l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 1
 57 km) excluant les étendues d'eau telles que les rivières, fleuves, lacs et autres plans
 58 d'eau. Cette variable est exprimée en kilomètres carrés (km²).

59 *Superficie résidentielle* : Surface totale des polygones à usage résidentiel dans l'aire
 60 d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km). Les usages résidentiel et résidentiel
 61 institutionnel ont été fusionnés en une seule catégorie. Cette variable correspond à la
 62 somme des surfaces résidentielles dans le rayon considéré et est exprimée en kilomètres
 63 carrés (km²).

64 *Indice de mixité des usages (entropie)* : Son calcul s'effectue en trois étapes. Tout d'abord,
 65 les différentes catégories d'usage du sol (n = 16) sont regroupées en six grandes
 66 catégories (résidentiel, commercial, institutionnel, parcs et loisirs, services, autres).
 67 Ensuite, pour chaque aire d'influence, on détermine la part relative occupée par chacune
 68 de ces catégories.

$$69 \quad p_j = \frac{\text{Superficie de l'usage } j}{\text{Superficie totale de l'aire d'influence}}$$

70 Enfin, l'indice d'entropie est calculé à partir de ces proportions, selon la formule
71 normalisée suivante :

$$72 \quad H = - \frac{\sum_{j=1}^J p_j \cdot \ln(p_j)}{\ln(J)}$$

73 Où J représente le nombre total de catégories d'usage considérées ($n=6$)

74 L'indice d'entropie varie entre 0 et 1 : plus sa valeur est élevée, plus la mixité des usages
75 du territoire est importante.

76 **Design**

77 *Nombre d'intersections* : Décompte des nœuds formés par l'intersection de deux tronçons
78 ou plus (autoroutes, artérielles, collectrices, nationales, régionales et locales) dans l'aire
79 d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km). Les extrémités de segments sont regroupées
80 spatialement (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise - DBSCAN)
81 pour éviter les doublons.

82 *Longueur des tronçons routiers* : Somme des longueurs de tous les tronçons routiers dans
83 l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km), exprimée en mètres. Soulignons qu'en
84 raison de certaines caractéristiques géométriques, notamment sur les voies artérielles et
85 collectrices (par exemple, présence d'un terre-plein central), certaines sections de
86 tronçons sont comptabilisées en double, entraînant une surévaluation de la longueur
87 totale du réseau.

88 *Longueur des tronçons autoroutiers* : Somme des longueurs des tronçons de type
89 autoroute dans l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km), exprimée en mètres.

90 *Longueur des tronçons hors autoroutes* : Somme des tronçons routiers hors autoroutes
91 dans l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km), exprimée en mètres. Soulignons
92 qu'en raison de certaines caractéristiques géométriques, notamment sur les voies
93 artérielles et collectrices (par exemple, présence d'un terre-plein central), certaines
94 sections de tronçons sont comptabilisées en double, entraînant une surévaluation de la
95 longueur totale du réseau.

96 *Longueur de voies cyclables* : Somme des longueurs des tronçons cyclables dans l'aire
97 d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km), exprimée en mètres.

98 **Accessibilité aux destinations**

99 *Indicateur d'accessibilité aux emplois* : L'indicateur d'accessibilité aux emplois est calculé
100 au niveau de chaque pixel. Il correspond à la proportion des emplois pondérés accessibles
101 en 45 minutes en transport collectif (entre 6h et 21h) par rapport à ceux accessibles en
102 automobile. Cet indicateur mesure le niveau de liberté offert par le transport collectif en
103 cumulant les emplois atteignables selon une fonction de pondération décroissante du
104 temps de trajet. Il représente ainsi la part des emplois qu'il est possible de rejoindre en
105 TC par rapport à la voiture et s'interprète comme le pourcentage d'emplois accessibles à
106 la fois en automobile et en transport collectif.

107 *Nombre de commerces alimentaires* : Décompte des commerces alimentaires localisés
108 dans l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km).

109 *Nombre de points d'intérêt (POI)* : Décompte des POI localisés dans l'aire d'influence de
 110 chaque pixel (rayon de 1 km). Les catégories considérées sont les suivantes :
 111 restauration, magasinage, divertissement, tourisme, services publics et communautaires,
 112 automobile et services financiers.

113 *Nombre d'établissements d'enseignement* : Décompte des établissements
 114 d'enseignement présents dans l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km). Les
 115 établissements considérés sont les établissements d'enseignement supérieur, les écoles,
 116 les centres ou instituts de formation et les garderies subventionnées. Seul le bâtiment
 117 administratif principal est pris en compte.

118 *Nombre d'arrêts d'autobus dans un rayon de 400 m* : Décompte des arrêts d'autobus
 119 situés dans l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 400 m).

120 *Nombre d'arrêts d'autobus dans un rayon de 1 km* : Décompte des arrêts situés dans l'aire
 121 d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km).

122 *Nombre de stations de métro et du REM* : Dénombrement des stations de métro et du
 123 REM dans l'aire d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km).

124 *Nombre de stations de train* : Dénombrement des stations de train présentes dans l'aire
 125 d'influence de chaque pixel (rayon de 1 km).

126 *Indicateur d'accessibilité au transport collectif* : L'indicateur d'accessibilité au transport
 127 collectif (TC) et calculé au niveau de chaque pixel. C'est une estimation du nombre de
 128 passages de services de transport en commun (métro, train, bus, REM) accessibles
 129 depuis un point donné (pixel) au cours d'une journée complète (entre 6h et 21h).

130 2.5. Lien avec le fichier d'enquête Pm23

131 Pour relier les données de l'enquête métropolitaine 2023 Perspectives mobilité (Pm23)
 132 aux variables de l'environnement bâti, chaque localisation — qu'il s'agisse du domicile
 133 des ménages ou des origines ou destinations des déplacements — est associé à la cellule
 134 de la grille de 250 m × 250 m dans laquelle elle se trouve.

135 Les données de l'enquête sont reliées aux données de l'environnement bâti par une
 136 jointure entre la localisation du point et le pixel dans lequel il se trouve. Ainsi, chaque lieu
 137 hérite de la valeur de l'aire d'influence du pixel joint.

138 Deux fichiers sont disponibles à cet effet :

139 *men_envibati* : décrit les lieux de domicile des ménages et utilise le préfixe m_domi;

140 *dep_envibati* : décrit les origines et destinations des déplacements et contient les
 141 variables liées à l'environnement bâti pour les pixels d'origine (préfixe d_orig) et de
 142 destination (préfixe d_dest).

Références:

- Aston, Laura, Graham Currie, Alexa Delbosc, Md Kamruzzaman, and David Teller. 2021. "Exploring Built Environment Impacts on Transit Use—an Updated Meta-Analysis." *Transport Reviews* 41 (1): 73–96.
- Badland, Hannah, and Grant Schofield. 2005. "Transport, Urban Design, and Physical Activity: An Evidence-Based Update." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 10 (3): 177–96.
- Cervero, Robert, and Kara Kockelman. 1997. "Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2 (3): 199–219.
- Chen, Cynthia, Hongmian Gong, and Robert Paaswell. 2008. "Role of the Built Environment on Mode Choice Decisions: Additional Evidence on the Impact of Density." *Transportation* 35 (3): 285–99.
- Choi, Kwangyul. 2018. "The Influence of the Built Environment on Household Vehicle Travel by the Urban Typology in Calgary, Canada." *Cities* 75: 101–10.
- Clark, Andrew, and Darren Scott. 2014. "Understanding the Impact of the Modifiable Areal Unit Problem on the Relationship between Active Travel and the Built Environment." *Urban Studies* 51 (2): 284–99.
- De Gruyter, Chris, Liang Ma, Tayebah Saghapour, and Jago Dodson. 2020. "How Does the Built Environment Affect Transit Use by Train, Tram and Bus?" *Journal of Transport and Land Use* 13 (1): 625–50.
- Ding, Chuan, Donggen Wang, Chao Liu, Yi Zhang, and Jiawen Yang. 2017. "Exploring the Influence of Built Environment on Travel Mode Choice Considering the Mediating Effects of Car Ownership and Travel Distance." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 100: 65–80.
- Eldeeb, Gamal, Moataz Mohamed, and Antonio Páez. 2021. "Built for Active Travel? Investigating the Contextual Effects of the Built Environment on Transportation Mode Choice." *Journal of Transport Geography* 96: 103158.
- El-Geneidy, Ahmed, Michael Grimsrud, Rania Wasfi, Paul Tétreault, and Julien Surprenant-Legault. 2014. "New Evidence on Walking Distances to Transit Stops: Identifying Redundancies and Gaps Using Variable Service Areas." *Transportation* 41 (1): 193–210.
- Ewing, Reid, and Robert Cervero. 2001. "Travel and the Built Environment: A Synthesis." *Transportation Research Record* 1780 (1): 87–114.
- Ewing, Reid, and Robert Cervero. 2010. "Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis." *Journal of the American Planning Association* 76 (3): 265–94.
- Frank, Lawrence, Mark Bradley, Sarah Kavage, James Chapman, and T Keith Lawton. 2008. "Urban Form, Travel Time, and Cost Relationships with Tour Complexity and Mode Choice." *Transportation* 35 (1): 37–54.
- Frank, Lawrence Douglas, Brian E Saelens, Ken E Powell, and James E Chapman. 2007. "Stepping towards Causation: Do Built Environments or Neighborhood and Travel

- 183 Preferences Explain Physical Activity, Driving, and Obesity?" *Social Science & Medicine*
184 65 (9): 1898–914.
- 185 Guerra, Erick, Robert Cervero, and Daniel Tischler. 2012. "Half-Mile Circle: Does It Best
186 Represent Transit Station Catchments?" *Transportation Research Record* 2276 (1): 101–
187 9.
- 188 Handy, Susan L, Marlon G Boarnet, Reid Ewing, and Richard E Killingsworth. 2002. "How the
189 Built Environment Affects Physical Activity: Views from Urban Planning." *American*
190 *Journal of Preventive Medicine* 23 (2): 64–73.
- 191 Harding, Christopher, Zachary Patterson, Luis F Miranda-Moreno, and Seyed Amir H Zahabi.
192 2012. "Modeling the Effect of Land Use on Activity Spaces." *Transportation Research*
193 *Record* 2323 (1): 67–74.
- 194 Jun, Myung-Jin, Keechoo Choi, Ji-Eun Jeong, Ki-Hyun Kwon, and Hee-Jae Kim. 2015. "Land Use
195 Characteristics of Subway Catchment Areas and Their Influence on Subway Ridership in
196 Seoul." *Journal of Transport Geography* 48: 30–40.
- 197 Khan, Mobashwir, Kara M Kockelman, and Xiaoxia Xiong. 2014. "Models for Anticipating Non-
198 Motorized Travel Choices, and the Role of the Built Environment." *Transport Policy* 35:
199 117–26.
- 200 Krizek, Kevin J. 2003. "Residential Relocation and Changes in Urban Travel: Does
201 Neighborhood-Scale Urban Form Matter?" *Journal of the American Planning Association*
202 69 (3): 265–81.
- 203 Lavolette, Jérôme. 2023. *Modelling the Factors Influencing Car Ownership*. Ecole Polytechnique,
204 Montreal (Canada).
- 205 Lavolette, Jérôme, Catherine Morency, and EOD Waygood. 2022. "A Kilometer or a Mile? Does
206 Buffer Size Matter When It Comes to Car Ownership?" *Journal of Transport Geography*
207 104: 103456.
- 208 Li, Jingjing, Adam Peterson, Amy H Auchincloss, et al. 2022. "Comparing Effects of Euclidean
209 Buffers and Network Buffers on Associations between Built Environment and Transport
210 Walking: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis." *International Journal of Health*
211 *Geographics* 21 (1): 12.
- 212 Li, Peilin, Pengjun Zhao, and Tim Schwanen. 2020. "Effect of Land Use on Shopping Trips in
213 Station Areas: Examining Sensitivity to Scale." *Transportation Research Part A: Policy*
214 *and Practice* 132: 969–85.
- 215 Litman, Todd. 2024. *Land Use Impacts on Transport*.
- 216 Litman, Todd. 2025. *Evaluating Accessibility for Transport Planning*.
- 217 Liu, Xiang, Xiaohong Chen, Mingshu Tian, and Jonas De Vos. 2023. "Effects of Buffer Size on
218 Associations between the Built Environment and Metro Ridership: A Machine Learning-
219 Based Sensitive Analysis." *Journal of Transport Geography* 113: 103730.
- 220 Manaugh, Kevin, and Ahmed El-Geneidy. 2011. "Validating Walkability Indices: How Do Different
221 Households Respond to the Walkability of Their Neighborhood?" *Transportation*
222 *Research Part D: Transport and Environment* 16 (4): 309–15.

- 223 Oliver, Lisa N, Nadine Schuurman, and Alexander W Hall. 2007. "Comparing Circular and
224 Network Buffers to Examine the Influence of Land Use on Walking for Leisure and
225 Errands." *International Journal of Health Geographics* 6 (1): 41.
- 226 Openshaw, Stan. 1984. "The Modifiable Areal Unit Problem." *Concepts and Techniques in*
227 *Modern Geography*.
- 228 Park, Keunhyun, Reid Ewing, Brenda C Scheer, and Guang Tian. 2018. "The Impacts of Built
229 Environment Characteristics of Rail Station Areas on Household Travel Behavior." *Cities*
230 74: 277–83.
- 231 Saelens, Brian E, James F Sallis, and Lawrence D Frank. 2003. "Environmental Correlates of
232 Walking and Cycling: Findings from the Transportation, Urban Design, and Planning
233 Literatures." *Annals of Behavioral Medicine* 25 (2): 80–91.
- 234 Van Soest, Dennis, Miles R Tight, and Christopher DF Rogers. 2020. "Exploring the Distances
235 People Walk to Access Public Transport." *Transport Reviews* 40 (2): 160–82.
- 236 Zegras, Pericles Christopher. 2005. *Sustainable Urban Mobility: Exploring the Role of the Built*
237 *Environment*.
- 238 Zhang, Yi, Wei Wu, Yuan Li, Qixing Liu, and Chaoyang Li. 2014. "Does the Built Environment
239 Make a Difference? An Investigation of Household Vehicle Use in Zhongshan
240 Metropolitan Area, China." *Sustainability* 6 (8): 4910–30.
- 241