



CIRANO

*Allier savoir et décision*

# Densification ou prolongement des réseaux de transport structurants ? Une recension des écrits sur les coûts et les bénéfices attendus

Rapport de projet réalisé dans le cadre du programme d'études complémentaires de la ligne rose pour la Direction des projets de mobilité durable de la Ville de Montréal

JEAN-PHILIPPE MELOCHE

VINCENT TROTIGNON

FRANÇOIS VAILLANCOURT

2020RP-28  
RAPPORT DE PROJET



**Les rapports de projet** sont destinés plus spécifiquement aux partenaires et à un public informé. Ils ne sont ni écrits à des fins de publication dans des revues scientifiques ni destinés à un public spécialisé, mais constituent un médium d'échange entre le monde de la recherche et le monde de la pratique.

*Project Reports are specifically targeted to our partners and an informed readership. They are not destined for publication in academic journals nor aimed at a specialized readership, but are rather conceived as a medium of exchange between the research and practice worlds.*

**Le CIRANO** est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec. Le financement de son infrastructure et de ses activités de recherche provient des cotisations de ses organisations-membres, d'une subvention d'infrastructure du gouvernement du Québec, de même que des subventions et mandats obtenus par ses équipes de recherche.

*CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Quebec Companies Act. Its infrastructure and research activities are funded through fees paid by member organizations, an infrastructure grant from the government of Quebec, and grants and research mandates obtained by its research teams.*

### **Les partenaires du CIRANO – CIRANO Partners**

#### **Partenaires corporatifs – Corporate Partners**

Autorité des marchés financiers  
Banque de développement du Canada  
Banque du Canada  
Banque nationale du Canada  
Bell Canada  
BMO Groupe financier  
Caisse de dépôt et placement du Québec  
Énergir  
Hydro-Québec  
Innovation, Sciences et Développement économique Canada  
Intact Corporation Financière  
Investissements PSP  
Manuvie Canada  
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation  
Ministère des finances du Québec  
Mouvement Desjardins  
Power Corporation du Canada  
Rio Tinto  
Ville de Montréal

#### **Partenaires universitaires – Academic Partners**

École de technologie supérieure  
École nationale d'administration publique  
HEC Montréal  
Institut national de la recherche scientifique  
Polytechnique Montréal  
Université Concordia  
Université de Montréal  
Université de Sherbrooke  
Université du Québec  
Université du Québec à Montréal  
Université Laval  
Université McGill

Le CIRANO collabore avec de nombreux centres et chaires de recherche universitaires dont on peut consulter la liste sur son site web. *CIRANO collaborates with many centers and university research chairs; list available on its website.*

© Octobre 2020. Ville de Montréal. Tous droits réservés. *All rights reserved. Reproduction partielle permise avec citation du document source, incluant la notice ©. Short sections may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.*

Les idées et les opinions émises dans cette publication sont sous l'unique responsabilité des auteurs et ne représentent pas nécessairement les positions du CIRANO ou de ses partenaires. *The observations and viewpoints expressed in this publication are the sole responsibility of the authors; they do not necessarily represent the positions of CIRANO or its partners.*

**ISSN 1499-8629 (version en ligne)**

# **Densification ou prolongement des réseaux de transport structurants ?**

## **Une recension des écrits sur les coûts et les bénéfices attendus**

**Rapport de projet réalisé dans le cadre du programme d'études complémentaires de la ligne rose pour la Direction des projets de mobilité durable de la Ville de Montréal**

*Jean-Philippe Meloche <sup>\*</sup>, Vincent Trotignon <sup>†</sup>, François Vaillancourt <sup>‡</sup>*

### **Résumé**

Dans la réflexion sur la priorisation des projets de développement des réseaux structurants de transport en commun à Montréal, ce rapport s'intéresse à la question des bénéfices et des coûts associées à différentes options d'expansion telles que les prolongements et la densification. On y propose une revue de littérature qui permet dans un premier temps de dégager les thèmes clés de l'analyse avantages-coûts associés au développement des réseaux de transport en commun. On se sert ensuite de résultats empiriques existants pour tirer des conclusions sur les impacts attendus des projets de prolongement et de densification.

**Mots-clés :** Montréal, Transport en commun, Coûts, Bénéfices, Infrastructures, Souterrain, Surface

---

<sup>\*</sup> Professeur à l'École d'urbanisme et d'architecture de paysage de l'Université de Montréal et chercheur principal du thème Territoires au CIRANO

<sup>†</sup> Doctorant à la Faculté d'aménagement de l'Université de Montréal et au Lab'Urba, Université Paris-Est

<sup>‡</sup> Professeur émérite du département de sciences économiques de l'Université de Montréal et Fellow du CIRANO

## Sommaire exécutif

### *Contexte et problématique*

La saturation de certains services de transport en commun, l'accroissement de la congestion routière et les impératifs du développement durable incitent le développement de nouveaux projets de transport en commun dans la région métropolitaine de Montréal. Plusieurs projets majeurs d'amélioration de l'offre de service ont été proposés par les autorités au cours des dernières années. Certains visent le prolongement de lignes existantes. D'autres visent à renforcer la densité du réseau. Toutes ces propositions ne pourront toutefois pas être implantées au même moment. Les chantiers majeurs doivent être distribués dans le temps, si bien que des choix doivent être faits pour prioriser les projets. Dans la réflexion sur la priorisation des projets, on s'intéresse ici à la question de l'évolution des réseaux structurants de transport en commun. Pour l'évolution de ces réseaux, faut-il miser sur un nombre plus limité de lignes qui desservent de plus grandes distances ou sur un nombre plus élevé de lignes qui desservent de plus courtes distances ? Autrement dit, la densification ou le prolongement sont-ils déterminants pour les bénéfices que l'on peut en tirer ?

### *Objectif*

L'objectif de cette recherche est d'établir un cadre de réflexion à partir de concepts théoriques empruntés à l'analyse avantages-coûts et de s'appuyer sur les résultats de recherches antérieures pour nourrir la réflexion sur la priorisation des projets d'expansion du réseau structurant de transport en commun de la Ville de Montréal. Pour ce faire, il est envisagé de regrouper la littérature pertinente sur les éléments affectant les coûts et les bénéfices des projets d'expansion de réseaux structurants de transport en commun afin de départager les effets propres à la densification du réseau de ceux propres à son prolongement.

### *La méthodologie*

Cette recherche se base sur deux sources d'information. La première regroupe un corpus de textes théoriques, axés sur la compréhension des coûts et des bénéfices des différents modes de transport urbain. Ces textes ont permis de faire ressortir les principaux éléments de coûts et de bénéfices à prendre en compte dans l'étude des projets d'expansion d'un réseau structurant de transport en commun. Ils ont aussi permis d'établir une définition de ce que l'on conçoit comme un projet de prolongement et un projet de densification. Cette définition, illustrée par la figure 2.3 du rapport (p. 19), est une simplification des modélisations complexes utilisées dans la littérature et sert à contraster les deux phénomènes.

La seconde source d'information est tirée d'études empiriques portant sur des éléments affectant les coûts et les bénéfices de l'expansion des réseaux structurants de transport en commun. Les

conclusions à tirer n'émergent pas directement des textes. Ces derniers sont mis en dialogue avec les éléments identifiés à l'étape précédente. Ainsi, les résultats empiriques ont été classés selon leur contribution à sept enjeux clés :

1. les bénéfices du réseau pour les usagers;
2. les bénéfices associés au transfert modal;
3. les effets structurants;
4. les opportunités foncières;
5. les coûts des différents modes utilisés;
6. les enjeux d'équité sociale;
7. les considérations politiques.

La dernière étape du travail consistait à reprendre ces résultats en tentant de distinguer ceux qui s'appliquent davantage au cas d'un prolongement, par rapport à ceux qui s'appliquent plutôt à un cas de densification.

### *Résultats*

#### **1. Les bénéfices du réseau**

C'est souvent la congestion des lignes qui conditionne les modalités d'expansion. Lorsque les stations ou les tronçons centraux du réseau montrent des signes de congestion, les projets de densification amènent des bénéfices plus importants, alors que lorsque certaines lignes sont moins achalandées, leur prolongement peut accroître l'achalandage du réseau et entraîner une bonification de l'offre de service pour l'ensemble des usagers.

#### **2. Les bénéfices associés au transfert modal**

Les projets structurants de transport en commun provoquent un transfert modal de la voiture vers le transport en commun, ce qui génère de multiples bénéfices. La conversion des automobilistes est plus probable dans le contexte d'un prolongement vers la périphérie (où les automobilistes sont plus nombreux), mais l'effet total sur l'achalandage serait plus important dans le contexte d'une densification (qui vise des territoires où les habitants sont plus susceptibles de prendre le transport en commun).

#### **3. Les effets structurants**

La littérature n'est pas unanime sur l'existence, l'amplitude ou le sens des effets structurants des réseaux de transport en commun, sur la localisation des activités économiques dans l'espace urbain, ou sur l'étalement urbain. La densification des réseaux, tout comme leur prolongement, peuvent contribuer au renforcement de l'activité économique du centre-ville ainsi qu'à l'étalement (résidentiel surtout). Les effets structurants ne représentent donc pas un critère déterminant.

#### **4. Les opportunités foncières**

L'impact des projets structurants de transport en commun sur la revalorisation foncière dépend davantage des types de projets (souterrain) et des milieux dans lesquels ils s'insèrent (haute densité) que du fait d'un prolongement ou d'une densification. Les projets de densification sont tout de même plus susceptibles d'être construits en souterrain et d'appuyer une activité économique dense. Mais les projets de prolongement ont également le potentiel de stimuler le redéveloppement urbain si le milieu y est propice.

#### **5. Les coûts des différents modes utilisés**

Les projets de prolongement offrent souvent des options de construction meilleur marché que les projets de densification, mais cela résulte essentiellement du contexte. S'ils sont construits dans des milieux plus denses, les projets de densification des réseaux sont soumis à des coûts d'acquisition des terrains plus élevés ainsi qu'à des coûts d'expropriation et des entraves à la circulation plus importants.

#### **6. Les enjeux d'équité sociale**

Les prolongements vers des quartiers où les niveaux de défavorisation de la population sont plus élevés peuvent avoir un impact significatif sur l'amélioration de l'accessibilité à l'emploi. L'impact attendu d'un développement par densification dans un quartier plus proche du centre serait toutefois plus faible, puisque ces quartiers sont généralement déjà mieux desservis.

#### **7. Les enjeux politiques**

Sachant que la visibilité des projets est un argument important pour les décideurs, on peut déduire que les projets de prolongement, qui visent des zones non desservies, ont plus de chance d'obtenir l'appui des élus et de la population que l'ajout de services dans des zones déjà desservies.

#### *Conclusion*

Il est impossible de conclure que l'une ou l'autre des formes d'expansion d'un réseau de transport en commun structurant peut être supérieure simplement au regard des bénéfices et des coûts potentiels. Chaque projet est unique et fait face à des opportunités et des contraintes qui lui sont propres. Notre revue de littérature fait ressortir plusieurs bénéfices et coûts qui peuvent être associés à des projets de prolongement et à des projets de densification. La littérature montre d'ailleurs que les réseaux de transport en commun évoluent généralement par phases successives de prolongement et de densification. La congestion semble être une variable clé pour expliquer ces changements successifs. Les conclusions tirées dans cette étude étant générales et fondées sur plusieurs hypothèses, leur portée reste limitée. Sans avoir d'information tangible sur les projets et les contextes dans lesquels ils s'insèrent, il est toujours difficile de statuer sur les bénéfices ou les coûts potentiels.

## Table des matières

1. Introduction .....	1
2. Un regard économique sur le développement des réseaux.....	4
2.1 Le cadre d'analyse en économie des transports urbains .....	4
2.2 L'analyse avantages-coûts.....	9
2.3 Géométrie des réseaux et modalités d'expansion .....	14
3. Facteurs agissants sur les coûts et les bénéfices.....	21
3.1 Les bénéfices du réseau pour ses usagers.....	21
3.2 L'impact sur la mobilité à l'échelle de la ville.....	23
3.3 Les effets structurants.....	26
3.4 Les opportunités foncières .....	27
3.5 La contrainte des coûts .....	29
3.6 La question de l'équité .....	30
3.7 Les considérations politiques .....	31
4. Synthèse et conclusion .....	34
4.1 Prolonger ou densifier ? Retour sur la question .....	34
4.2 En conclusion .....	36
Bibliographie.....	38

## **Tableaux et figures**

Tableau 2.1 Gains et coûts des analyses avantages-coûts en transport en commun .....	12
Figure 2.1 Principales formes des réseaux de transport urbain sur rail.....	16
Figure 2.2 Types de réseaux et types de lignes présentés de manière graphique.....	17
Figure 2.3 Exemple de prolongement et de densification d'un réseau à deux lignes .....	19



# 1. Introduction

Le coût de la congestion routière est important dans la région métropolitaine de Montréal et il s'est aggravé considérablement au cours des dernières années (ADEC 2018). Ce coût s'ajoute à celui de la contribution croissante des transports motorisés aux émissions de gaz à effet de serre (Gouvernement du Québec 2018b). Dans l'optique où la planification des transports au Québec s'arrime de plus en plus au paradigme de la mobilité durable, tel qu'énoncé par Banister (2008)<sup>4</sup>, cette situation force la réflexion sur le développement de nouveaux projets de transport en commun dans la métropole. Les parts modales sont relativement stables depuis quelques années pour le transport en commun<sup>5</sup> et certaines lignes du métro de Montréal sont déjà utilisées à pleine capacité aux heures de pointe (Normandin 2018). Cette saturation génère une dégradation du service et risque de contribuer à la stagnation des parts modales du transport en commun dans l'avenir.

Plusieurs projets majeurs d'amélioration de l'offre de service en transport en commun ont été proposés dans la région de Montréal au cours des dernières années (ARTM 2018). Certains projets, comme le Réseau express métropolitain (REM) ou le Service rapide par bus (SRB) Pie-IX, ont déjà été mis en chantier. D'autres projets, comme le prolongement de la ligne bleue du métro, sont en démarrage. Un ensemble de propositions est aussi à l'étude : développement d'une nouvelle ligne de métro et de tramway (ligne Rose), prolongement de lignes existantes (lignes jaune et orange), nouveau réseau structurant de transport électrique pour relier l'est, le nord-est et le sud-est au centre-ville de Montréal. Toutes ces propositions ne pourront être implantées au même moment. Les chantiers majeurs doivent être distribués dans le temps, si bien que des choix doivent être faits pour prioriser les projets.

Dans la réflexion sur la priorisation des projets, il faut tenir compte qu'un système de transport collectif est composé de plusieurs réseaux structurants intégrés et interconnectés, dont les coûts et les bénéfices peuvent varier selon les milieux d'insertion. Plusieurs caractéristiques de ces réseaux, dont le mode ou la technologie utilisée, la densité du réseau (nombre de lignes, nombre de kilomètres, nombre de stations, nombre de croisements, etc.), son implantation verticale (aérienne, surface, souterraine) et le type de voie emprunté (en circulation mixte, en voie réservée ou en site propre), viennent aussi moduler ces coûts et ces bénéfices. Comme le montre Flyvbjerg et al. (2008), les réseaux en souterrain sont plus coûteux, mais ils génèrent des bénéfices plus importants en matière de rapidité de déplacement et de récupération foncière. Les réseaux de surface qui empruntent la voirie sont quant à eux plus flexibles et meilleur marché, mais doivent partager les voies de circulation, ce qui limite leurs bénéfices aussi bien en matière de rapidité que de récupération foncière (Bertaud 2018, chap. 5). La question du bassin de desserte est aussi

---

<sup>4</sup> La *Politique de mobilité durable 2030* du gouvernement du Québec (2018a) en est l'incarnation à l'échelle provinciale.

<sup>5</sup> La part des déplacements domicile-travail effectués en transport en commun dans la région métropolitaine de Montréal était de 23,3 % au recensement de 2016 et de 23,1 % lors de l'Enquête nationale auprès des ménages en 2011 (Statistique Canada, 98-400-X2016326 et 99-012-X2011031).

importante. Vaut-il mieux un réseau qui repose sur un nombre plus limité de lignes et qui dessert de plus grandes distances ou un réseau qui profite d'un nombre plus élevé de lignes desservant de plus courtes distances ? Autrement-dit, la densification ou le prolongement des réseaux structurants existants sont-ils déterminants pour les bénéfices que l'on peut en tirer ? Comment jauger le rapport entre les coûts et les bénéfices pour ces deux stratégies de déploiement ?

### *Le mandat*

L'objectif de cette recherche est d'établir un cadre de réflexion à partir de concepts théoriques empruntés à l'analyse avantages-coûts et de s'appuyer sur les résultats de recherches antérieures pour nourrir la réflexion sur la priorisation des projets d'expansion du réseau structurant de transport en commun de la Ville de Montréal. Suivant Offner (1993), la littérature universitaire considère généralement comme structurantes les infrastructures de transport majeures qui ont pour effet de structurer le développement urbain en conditionnant la localisation des activités dans l'espace. Dans le contexte du transport en commun, cette définition englobe généralement les services de transport en commun sur des trajets fixes, en site propre, à haute fréquence, qui desservent un même bassin d'emploi (ou une même aire urbaine). Dans le contexte de Montréal, on peut considérer les modes de transport sur rail comme le métro et le REM, mais aussi les lignes de SRB comme faisant partie du réseau de transport en commun structurant. Comme le souligne Offner, l'effet structurant d'un réseau demeure toutefois un élément discutable. À Montréal, par exemple, certains modes sur rail, comme des trains de banlieue, partagent des infrastructures dont le principal objet est la desserte par les trains de marchandises. Bien que l'infrastructure nécessaire soit importante, le service ne peut pas être considéré comme structurant. Pour cette raison, cette recherche traite essentiellement des infrastructures sur rails propres comme les métros, les trams et les trains léger (SLR) comme faisant partie du réseau de transport structurant.

Ce rapport a été réalisé à l'été 2020. Le travail s'est déroulé sur trois mois. Le temps et les ressources pour cette recherche ayant été circonscrits, le spectre de l'étude, la collecte des informations et leur analyse ont été ajustés en conséquence. La revue de littérature sur laquelle s'appuie l'étude n'a pas la prétention de couvrir toutes les publications scientifiques associées au thème de recherche. Elle vise plutôt à présenter un survol des enjeux économiques à prendre en compte dans la réflexion sur le développement des réseaux urbains structurants de transport en commun.

### *La méthodologie*

Cette recherche se base sur deux sources d'information. La première regroupe un corpus de textes théoriques, axés sur la compréhension des coûts et des bénéfices des différents modes de transport urbain et leurs infrastructures. La seconde est tirée de la littérature portant plus spécifiquement sur la densification et le prolongement des réseaux de transport en commun. Dans tous les cas, le travail exécuté a été tributaire de l'abondance et de l'accessibilité des ouvrages et des études antérieurs en

anglais ou français. Dans le cas de la littérature portant sur la densification et le prolongement des réseaux, le thème s'est toutefois révélé trop pointu. Le spectre de la recherche documentaire a donc été élargi au cours de la recherche pour tirer des conclusions à partir de publications parfois plus périphériques, mais d'intérêt pour le thème.

Les conclusions à tirer sur le développement des réseaux de transport en commun structurants n'émergent pas directement des textes recensés. Ces derniers sont mis en dialogue avec le cadre conceptuel emprunté à l'économie des transports urbains et soumis à une grille de lecture tirée des méthodes d'analyse avantages-coûts. C'est à partir de la confrontation des attentes suscitées par le modèle théorique et la réalité observée au travers des travaux de recherche antérieurs que se dressent les conclusions de ce rapport.

Certaines limites sont toutefois inévitables au travail présenté. En premier lieu, la question sur le prolongement et la densification des réseaux de transports urbains structurants est relativement spécifique et ne permet pas de mobiliser un large corpus d'études antérieures. L'angle d'approche de la recherche a été élargi, mais cela a conduit à former un corpus relativement hétérogène dans les approches mobilisées, les contextes et les champs disciplinaires qu'il faut ensuite réinterpréter sous l'angle de la question de départ. Dans ce contexte, la littérature vise moins à donner une réponse univoque aux points d'interrogation que de donner des tendances observables. L'intérêt ne porte donc pas sur les chiffres précis avancés dans les études, mais davantage sur les orientations données par l'accumulation des travaux. Il convient également de souligner que notre approche a principalement porté sur la littérature scientifique et que l'important corpus de littérature grise produite par les acteurs professionnels (comme les firmes de génie-conseil) et institutionnels (comme les gouvernements ou les sociétés de transport) a été moins exploré en partie car souvent non disponible publiquement.

### *Organisation du document*

Ce rapport se divise en quatre parties. Suivant l'introduction, la seconde partie aborde les éléments conceptuels. On y présente brièvement l'approche économique de l'étude des transports urbains. On y présente aussi les éléments clés de l'analyse avantages-coûts associés à l'étude réseaux de transport en commun. On y définit ensuite les concepts de densification et de prolongement d'un réseau de transport structurant. La troisième partie de ce rapport présente les principaux enjeux qui affectent les coûts et les bénéfices des réseaux de transport structurants. On y aborde la question de la performance des réseaux et de leur impact sur la mobilité à l'échelle de l'aire urbaine. On y traite aussi des effets structurants des réseaux sur l'étalement urbain et la vitalité des centres-villes ainsi que des opportunités de développement immobilier qu'ils génèrent. La question des coûts y est également traitée, tout comme celles des enjeux d'équité sociale et les considérations politiques. La quatrième et dernière partie conclue avec une synthèse des éléments de coûts et de bénéfices au regard de projets génériques de prolongement ou de densification.

## **2. Un regard économique sur le développement des réseaux**

Avant d'aborder la question de l'expansion des réseaux de transport structurants, cette section dresse le cadre théorique sur lequel s'appuie l'analyse des sections subséquentes. Ce cadre se situe dans le champ de l'économie des transports urbains et s'appuie principalement sur les méthodes d'analyse avantages-coûts pour faire ressortir les thèmes d'intérêt qui orientent la revue de littérature. La question qui guide cette recherche y est aussi spécifiée, tout comme la définition des concepts de densification et de prolongement des réseaux structurants.

### **2.1 Le cadre d'analyse en économie des transports urbains**

L'approche économique de l'étude des transports urbains est fondée sur les principes microéconomiques de choix des agents (consommateurs, producteurs et gouvernements). Les modèles sur lesquels s'appuie ce champ d'étude sont notamment développés dans l'ouvrage de Small et Verhoef (2007). Notre objectif n'est pas de reprendre ici ces modèles, mais plutôt d'en faire ressortir quelques éléments conceptuels utiles pour nourrir la réflexion élaborée dans ce rapport.

En économie, l'outil d'analyse fondamental est celui du marché. Les besoins en déplacements conditionnent la demande en transport. Les infrastructures publiques et l'utilisation des véhicules (privés ou publics) constituent les éléments clés de l'offre de transport. L'ampleur de la demande et de l'offre permettent d'expliquer le coût unitaire des déplacements (leur prix) et ultimement la quantité de déplacements qui sont effectués sur un territoire donné.

Plusieurs éléments distinguent l'offre et la demande en transport par rapport aux mêmes composantes sur un marché de biens. D'abord, la demande en transport n'est pas une demande directe. Elle est dérivée d'autres activités économiques (consommation, travail, loisirs, etc.). On la modélise généralement comme une friction, soit une perte d'utilité ou une perte de productivité (Button 2010). Quant à l'offre, elle n'est jamais comblée entièrement par une entité indépendante de la demande. Cela s'explique par le fait que l'offre de transport est en grande partie auto-produite. C'est-à-dire que la personne qui se déplace produit son propre déplacement (ne serait-ce que par son investissement en temps). Dans ce cas, l'offre et la demande sont incarnées, au moins partiellement, par le même agent économique.

Ce rapport porte surtout sur les réseaux de transport en commun structurants. Il s'agit d'un créneau particulier dans l'univers des déplacements. Les modes de transport et les itinéraires sont des substituts les uns pour les autres, ce qui rend le développement d'un mode particulier très dépendant de celui des autres. Cela vaut autant pour la demande que pour l'offre de transport. Il est donc impossible de caractériser le marché du transport en commun, et plus spécifiquement celui reposant sur les réseaux structurants, sans avoir le portrait d'ensemble de la mobilité sur un territoire donné.

Nous reviendrons sur cette notion lorsqu'il sera question des bénéfices indirects des services de transport en commun structurants (sections 2.2 et 3.2).

### *La demande de transport*

En économie, les déterminants de la demande sont relativement standards. La demande pour un bien dépend du prix de ce bien, mais réagit aux prix des biens complémentaires et des biens substitués. Elle varie selon la taille de la population et les revenus des individus (contrainte budgétaire), et selon leurs préférences. Les mêmes éléments peuvent être repris pour caractériser la demande pour les déplacements en transport en commun.

Prenons d'abord l'effet du prix des biens complémentaires. Un bien complémentaire est généralement un bien dont la consommation est associée à un autre bien. Dans les transports, on dira que l'achat d'une voiture personnelle, par exemple, est conditionné par le marché des carburants, parce que ces deux biens sont complémentaires. Dans certaines situations, on considère également les transports actifs comme complémentaires au transport en commun (Faghih-Imani et al. 2017, Shi et al. 2020). Comme nous l'avons déjà mentionné, la demande en transport n'est pas une demande directe, mais dérivée des autres activités économiques et personnelles. Elle est donc tributaire des prix des autres activités économiques. Du point de vue de la consommation, la demande en transport dépend des biens consommés à destination. Si les prix de ces biens diminuent, les consommateurs seront prêts à payer davantage pour leurs déplacements vers les lieux de consommation. La demande en transport réagit donc en général à contresens des prix des autres biens.

Plusieurs auteurs considèrent toutefois la demande en transport urbain comme une composante du marché de l'emploi plutôt que de la consommation (Angel et Blei 2016, Bertaud 2018, chap. 5). Selon cette perspective, le déplacement est perçu comme une contrainte d'accès à l'emploi. Ce sont alors les salaires qui conditionnent la demande en déplacements. Plus les salaires sont élevés, plus les travailleurs seront prêts à dépenser pour leurs déplacements<sup>6</sup>. Ainsi, la demande en transport réagit aux variations des salaires sur le marché de l'emploi. Cette notion est importante à garder en tête lorsqu'on aborde la question de l'équité sociale (section 3.6). La diminution des coûts de transport pour les petits salariés, par exemple, peut avoir un impact significatif sur l'accès à l'emploi et ultimement le taux de chômage dans certains quartiers.

Les biens substitués influencent aussi la demande. Dans le cas du transport en commun, les substitués sont nombreux. En fait, tous les modes de transport disponibles pour les déplacements urbains sont des substitués les uns aux autres. Même au sein du transport en commun, les modes sont des substitués les uns aux autres (bus, train, métro, etc.). Les trajets sont également des

---

<sup>6</sup> L'effet d'une hausse de salaire est double : elle affecte non seulement le marché de l'emploi en augmentant le nombre de travailleurs (donc le nombre de déplacements), mais aussi les distances parcourues par les travailleurs.

substitués les uns aux autres (ligne 1, ligne 2, ligne 3, etc.). Suivant le modèle standard, la répartition selon les modes et les trajets se fait selon une minimisation des coûts (financiers, temps, inconfort) de déplacement par les individus (Small et Verhoef 2007). Dans ces circonstances, toute modification de la structure de coût pour un seul mode de transport entraîne une reconfiguration de l'ensemble des déplacements pour l'ensemble des modes sur un territoire donné. Une variation du prix de l'essence, par exemple, aura un effet sur les déplacements à vélo et ceux dans le métro, même si ces deux modes n'exigent aucune consommation d'essence. Les effets de substitution complexifient donc grandement l'analyse des choix modaux dans les transports urbains, et par conséquent, l'estimation de la demande pour un mode en particulier. Elle vient aussi conditionner une partie des bénéfices associés à l'utilisation des services de transport en commun qui sont captés par les automobilistes (bénéfices discutés notamment dans la section 3.2)

L'argument démographique est généralement assez simple. Toutes choses étant égales par ailleurs, un accroissement de la population entraîne un accroissement de la demande. L'effet démographique se complexifie toutefois lorsque la consommation varie par tranche d'âge comme c'est le cas pour le transport en commun. Cela s'explique par le fait que certains modes de transport ne sont pas accessibles à certaines tranches d'âge (le permis de conduire pour les véhicules de promenade par exemple) ou retirés pour certains états de santé. Le cycle de vie (enfance, travail, retraite) et les effets générationnels peuvent donc avoir une influence considérable sur la demande en transport, et plus particulièrement sur la demande pour le transport en commun (Coogan et al. 2018).

Selon la logique économique, pour qu'un déplacement soit réalisé, il faut que les bénéfices associés à ce déplacement excèdent les coûts. Et pour assumer les coûts du déplacement, il faut également que les individus qui se déplacent aient les ressources nécessaires pour le faire. C'est le principe de la contrainte budgétaire. Dans le contexte des transports urbains, comme nous l'avons mentionné, les déplacements sont en grande partie autoproduits. Pour arriver à les réaliser, il faut non seulement que les individus y contribuent monétairement, mais il faut également qu'ils y investissent du temps. Or, bien que tous les individus soient dotés équitablement en temps (tous disposant de 24 heures par jour), ce temps ne se monnaie pas au même taux pour tous. D'ailleurs, si les moyens financiers mobilisés pour le transport peuvent varier considérablement d'un individu à l'autre, il semble que la contrainte de temps soit quant à elle relativement stable (Zahavi et Ryan 1978). L'amélioration des vitesses de déplacement n'aurait pour effet que d'accroître les distances ou de multiplier les déplacements (Bertaud et Richardson 2004). Nous reviendrons sur la notion de temps lorsqu'il sera question des bénéfices associés à l'amélioration des services de transport en commun (section 2.2).

La notion de préférence dans les transports affecte également la demande pour certains modes. À vitesse et à coût égal, certains modes de transport sont perçus comme plus enviables. Selon l'étude de St-Louis et al. (2014) menée à Montréal, les modes actifs sont ceux qui sont le plus appréciés, alors que les modes de transports collectifs sont les moins appréciés. Des considérations sociales

sont aussi notées par ces auteurs. La sensibilité écologiste, par exemple, peut valoriser la perception des transports publics. L'importance accordée à la santé peut favoriser les modes actifs, et la recherche de statut social l'utilisation de l'automobile. Au-delà de la vitesse et des coûts, l'appréciation d'un mode de transport inclut également le confort, la perception de l'environnement physique et la fiabilité (Courel et Deguire 2020). Les études de Haywood et al. (2018) et Haywood et Koning (2015) utilisent d'ailleurs cette notion de confort pour mesurer les coûts de la congestion dans les transports en commun (discutés dans la section 3.1). Certains vont même jusqu'à remettre en question la désutilité des déplacements (Mokhtarian et al. 2001). Le fait que les déplacements procurent de l'utilité, pour une certaine portion, pourrait d'ailleurs expliquer la constance des budgets temps accordés aux déplacements.

### *L'offre de transport et les infrastructures publiques*

L'offre de transport urbain comprend deux composantes principales : une composante privée, constituée du temps investi par les individus et des ressources personnelles dédiées à leurs déplacements (véhicules, espace d'entreposage, etc.) ; et une composante publique constituée d'infrastructures (routes, rails, tunnels, trottoirs, ponts, quais d'embarquement, etc.) et de services de transport public (comprenant véhicules et chauffeurs).

Comme nous l'avons mentionné, les déplacements sont en grande partie autoproduits par les individus qui se déplacent. Comme pour toutes autres formes de production, l'objectif de ces individus reste celui de minimiser leurs coûts. Mais ces individus font des choix qui correspondent seulement à la minimisation des coûts qui leurs sont imputés. Une bonne partie des intrants dans les déplacements sont produits par les gouvernements et mis à la disposition des usagers gratuitement ou moyennant des tarifs largement subventionnés (Meloche 2019, Meloche et al. 2019). Les décisions concernant ces infrastructures et ces services sont pris indépendamment des choix individuels et suivent parfois des objectifs différents (voir sections 3.6 et 3.7 de ce rapport).

La structure de coût d'un déplacement ne se limite toutefois pas aux infrastructures, mais doit comprendre tous les éléments qui constituent ce déplacement, de l'origine à la destination. Certains éléments sont considérés comme des coûts fixes comme l'amortissement du coût d'achat d'un véhicule ou d'une case de stationnement, alors que d'autres sont des coûts variables, comme le temps ou l'achat de carburants. Certains éléments considérés comme des coûts fixes à court terme peuvent également être vu comme des coûts variables à long terme. On peut prendre l'exemple du coût d'amortissement de l'achat d'un véhicule. Ce dernier est perçu comme un coût fixe à court terme (il faut payer le véhicule qu'on l'utilise ou non), alors qu'il peut être considéré comme un coût variable à long terme (si l'on peut modifier ses habitudes de déplacement). Parmi les éléments fondamentaux qui affectent le choix des déplacements, le facteur temps est généralement le plus déterminant, c'est ce qui avantage généralement les modes de transport motorisés individuels (Bertaud 2018, chap. 5, Cervero 1998). Dans un contexte urbain, le coût de l'espace affecte aussi significativement les coûts de mobilité, notamment par le prix de location des cases de

stationnement pour les véhicules personnels dans les milieux à haute densité (Paulhiac Scherrer et al. 2015, Shoup 2005). Ces éléments sont importants pour établir les coûts et les bénéfices de différents projets d'expansion d'infrastructures de transport.

Le temps investi dans les déplacements dépend de la distance des trajets et de la vitesse des modes de transport, mais il est aussi tributaire de la capacité des infrastructures. Les infrastructures étant généralement mises à la disposition des usagers gratuitement, il est possible que leur usage excède leur capacité. On dira alors qu'il y a congestion. La congestion augmente les temps de déplacement et donc les coûts pour les individus. Suivant la logique du modèle économique de Small et Verhoef (2007), les investissements dans les nouvelles infrastructures se justifient généralement par la congestion. Cela dit, le coût d'amortissement des nouvelles infrastructures peut être plus élevé que celui des infrastructures existantes et le repartage des flux sur le réseau peut réduire le bénéfice marginal par unité d'infrastructure. Dans ces circonstances, les analyses avantages-coûts deviennent des outils incontournables pour évaluer la pertinence des projets d'expansion (ce que nous abordons dans la section 2.2).

Dans les milieux urbains à haute densité, la multiplication des infrastructures est généralement limitée. C'est ce qui fait dire à Bertaud (2018) que la congestion est avant tout un problème foncier (p. 172). Selon lui, les opportunités de transport dans les centres urbains ne doivent pas seulement être plus rapides, mais utiliser également le moins d'espace possible pour minimiser les coûts, d'où la nécessité de construire des infrastructures souterraines ou aériennes. Ces mécanismes entraînent toutefois une hausse importante des coûts de production des infrastructures (Flyvbjerg et al. 2008).

Dans les services de transports en commun, la portion publique du coût de transport est plus importante que pour les transports routiers. Elle comprend non seulement l'amortissement des infrastructures, mais également les coûts associés aux véhicules (achat, entretien, etc.) et aux salaires des chauffeurs et autres employés de soutien.<sup>7</sup> Parce que les salaires sont des dépenses importantes pour les sociétés de transport public, il y a un avantage à augmenter la taille des véhicules quitte à réduire les fréquences. D'un autre côté, la réduction des fréquences et l'utilisation de grands véhicules à l'extérieur des périodes de pointe peut réduire l'achalandage moyen par véhicule et donc accroître le coût par déplacement. Les sociétés de transport doivent alors trouver un équilibre entre la minimisation des coûts pour la société de transport et la minimisation des coûts de déplacement pour leurs usagers (Li et Preston 2015). Cet équilibre entre les deux types de coûts est pris en compte dans les travaux de Saidi et al. (2016) et Cats et al (2020) sur la minimisation des coûts de transport selon la topologie des réseaux (abordée dans la section 3.1).

---

<sup>7</sup> On peut référer aux travaux de Meloche (2019) sur le financement des routes et de Meloche et al. (2019) sur le financement du transport en commun pour avoir une idée des subventions implicites des deux modes de transport. Ces travaux ne prennent toutefois pas en compte le coût d'usage des véhicules associés à l'usage des routes, qui réduit considérablement la subvention implicite des usagers des routes en proportion du coût total des déplacements.



Cette première section brosse un portrait très large des notions économiques mobilisées dans ce rapport. Il nous semblait important de bien cadrer ces notions dans leur contexte théorique, largement emprunté à Small et Verhoef (2007). Ces notions viennent en appui aux éléments associées à l'analyse avantages-coûts présentés dans la prochaine section et sont mobilisées pour guider la compréhension de plusieurs des résultats empiriques présentés dans le chapitre 3.

## 2.2 L'analyse avantages-coûts

L'analyse avantages-coûts est un outil permettant d'évaluer la rentabilité économique des projets pour la société. Ce type d'étude se prête généralement bien à l'étude des projets de transport urbain. Litman (2020) présente un guide propre aux projets de transport en commun. Le ministère des transports du Québec publie également un guide pour l'analyse des projets routiers (Gouvernement du Québec 2016). On retrouve des études comparatives sur l'analyse avantages-coûts pour des projets de transport en commun dans les travaux Gwee et al. (2011) et Weisbrod et al (2017) notamment. On retrouve toutefois très peu d'études avantages-coûts dans le domaine public sur des projets réalisés au Québec<sup>8</sup>. Nous avons trouvé un travail universitaire sur le prolongement de la ligne 2 du métro de Montréal à Laval (Ehouman 2007), mais aucun autre exemple concernant un projet de transport en commun.

Les contextes dans lesquels les analyses avantages-coûts sont pertinentes varient grandement (Boardman et al. 2011). De manière générale, elles sont utilisées lorsqu'une dépense engendre des bénéfices économiques difficiles à internaliser. Dans un contexte marchand, une analyse de marché ou de rentabilité financière suffit généralement à guider le choix des producteurs. Lorsque le marché est sujet à défaillance ou lorsque le producteur renonce à la tarification, la rentabilité financière ne constitue plus un critère de choix pertinent pour la production. Les analyses avantages-coût permettent alors de justifier les projets. Ces projets sont habituellement soutenus par des subventions publiques. Parce qu'ils engendrent une dépense publique importante, ils devraient faire l'objet d'une telle analyse.<sup>9</sup>

Quelques études sur le développement des réseaux structurants abordent en partie la question de l'expansion des réseaux en utilisant des outils d'analyse avantages-coûts. C'est le cas notamment de Saidi et al. (2016) et Cats et al. (2020). D'autres études traitent du développement des réseaux, mais davantage au regard du choix de modes, comme Tirachini et al. (2010). Nous reviendrons dans la partie 3 de ce rapport sur les résultats de ces études. Notre objectif ici est d'abord

---

<sup>8</sup> Ces études sont généralement réalisées en amont des grands projets, mais ne sont pas nécessairement rendues publiques (Vérificateur général du Québec 2004).

<sup>9</sup> En théorie, il n'y a pas de projet public qui ne mérite pas d'être analysé en amont sous l'angle de ses coûts et de ses bénéfices. L'absence de données essentielles, les coûts des études et leur fiabilité représentent toutefois un frein à l'utilisation de l'outil. Il est difficile de préciser ce qu'on entend par « dépense importante », mais dans le contexte d'un investissement substantiel, il est plus important de dégager les ressources nécessaires pour mener de telles études que lorsqu'il s'agit de plus petits projets.

d'expliquer les fondements de l'analyse avantages-coûts et de faire ressortir les principaux éléments à prendre en compte pour l'analyse de l'expansion d'un réseau de transport en commun structurant.

### *Fondements théoriques*

Les fondements de l'analyse avantages-coûts sont notamment décrits dans l'ouvrage de Boardman et al. (2011). Nous en reprenons ici les grands principes. Ce qui distingue l'analyse avantages-coûts de l'analyse économique classique est qu'elle ne repose pas sur le critère d'optimalité de Pareto. Selon le critère de Pareto, l'optimum économique est atteint lorsqu'il devient impossible de hausser le bien-être d'un individu sans diminuer celui d'un autre. À ce point, aucune ressource n'est gaspillée. L'analyse avantages-coûts repose quant à elle sur le critère de Hicks-Kaldor. Selon ce critère, l'optimum social est atteint lorsque la hausse de bien-être des individus avantagés par un projet rendrait théoriquement possible l'indemnisation des individus qui en sont défavorisés, de telle sorte que le niveau de bien-être de l'ensemble de la société est plus élevé après qu'avant la réalisation du projet. De ce point de vue, un projet est considéré comme bénéfique lorsque la somme des avantages économiques qu'il génère est supérieure à la somme des coûts économiques.

L'analyse avantages-coûts ne se contente pas de mesurer les effets directs des projets sur l'utilité ou sur les coûts, mais considère également tous les effets indirects (externalités). En théorie ceci se fait sans égard aux frontières géographiques ou politiques, mais en pratique, on définit souvent une zone de retombées du projet<sup>10</sup>. Plusieurs éléments associés aux bénéfices et aux coûts n'ont pas de valeur de marché lorsqu'ils ne sont pas transigés. L'analyse avantages-coûts s'appuie alors sur le principe de disposition à payer pour estimer les bénéfices et sur celui de disposition à recevoir pour évaluer les coûts. La disposition à payer reflète le prix que les bénéficiaires auraient été prêts à payer pour obtenir le bénéfice si un prix était utilisé. Il peut s'agir d'un montant à payer pour gagner du temps ou avoir un environnement plus sain. La disposition à recevoir suit le même principe, mais pour les coûts. Elle correspond à ce que les individus sont prêts à recevoir pour accepter une perte de bien-être. Cela peut correspondre par exemple à la compensation nécessaire à verser à des ménages pour le bruit causé par un projet ou la somme versée pour dédommager un propriétaire pour une expropriation. Les mesures de valeurs pour ces compensations reposent sur diverses méthodes. On les estime parfois par sondage ou par analogie à des dépenses similaires ou par calcul de coûts de remplacement. Dans tous les cas, ces méthodes demeurent approximatives et fondées sur des hypothèses qui peuvent être l'objet de débats (Boardman et al. 2011).

L'analyse avantages-coûts se base sur les effets spécifiques des projets. Elle réfère donc toujours à une situation initiale par rapport à laquelle le projet doit améliorer le bien-être collectif. Il s'agit en quelque sorte d'une analyse comparative entre deux situations : 1) ne rien changer, et 2) implanter

---

<sup>10</sup> Les élus préfèrent des projets dont les bénéfices sont captés par leurs électeurs et sont moins sensibles aux coûts qui sont imputés au-delà des frontières de leur territoire.

le projet à l'étude. Il faut toutefois garder en tête que de ne rien changer ne correspond pas nécessairement à une situation neutre. Dans le contexte d'un réseau de transport, on étudiera par exemple l'effet marginal de l'ajout d'un tronçon par rapport à ne rien ajouter au réseau. Or, ne rien ajouter au réseau peut entraîner une croissance des coûts en matière de congestion. C'est donc dire qu'un projet dont les coûts surpassent les bénéfices peut être considéré comme bénéfique s'il sert à remplacer une situation initiale qui entraîne par ailleurs des pertes encore plus grandes.

L'analyse avantages-coûts peut se faire ex-post pour valider la pertinence d'un projet ou d'une politique, mais elle est le plus souvent réalisée ex-ante afin de servir d'outil d'aide à la décision. La prise en compte des coûts de construction et d'exploitation des infrastructures, ainsi que des bénéfices procurés s'étend généralement sur un horizon de temps relativement long (30 à 40 ans), ce qui correspond environ à la période d'amortissement de l'infrastructure. Tous les coûts sont actualisés, c'est-à-dire rapportés en valeur de l'année en cours. Les facteurs d'actualisation utilisés réduisent progressivement les valeurs futures. Plus le taux d'actualisation est élevé, plus on accorde d'importance aux effets à court terme d'un projet par rapport à ses effets à long terme.

### *Les éléments de coûts et de bénéfices*

Ce qui nous intéresse ici, ce sont surtout les éléments à prendre en compte dans l'analyse avantages-coûts associés à des projets d'expansion de réseaux de transport en commun structurants. Pour ce faire, nous avons consulté plusieurs études qui recensent les pratiques sur l'analyse avantages-coûts pour des projets de transport en commun (Litman 2020, Weisbrod et al. 2017, Santori et al. 2015, Gwee et al. 2011). Il s'agit, selon nous, des études les plus pertinentes pour identifier les éléments à prendre en compte dans l'analyse de l'expansion des réseaux structurants. Les éléments pris en compte dans ces études sont résumés dans le tableau 2.1.

De manière générale, le bénéfice direct de l'amélioration de l'offre de transport en commun est celui de l'économie de temps et d'argent pour les usagers. La valeur du temps peut varier selon les lieux et selon les usagers. Tous les individus ne sont pas disposés à payer un montant équivalent pour sauver du temps. Gwee et al. (2011) observent des valeurs du temps relativement différentes d'un pays à l'autre. De manière générale, on utilise une valeur proche de la moitié du salaire horaire médian. C'est ce que suggère d'ailleurs le ministère des Transports du Québec pour ses études sur les infrastructures routières (Gouvernement du Québec 2016)<sup>11</sup>. Les gains de services peuvent aussi entraîner une amélioration du confort et de l'expérience (Courel et Deguire 2020), également valorisés par les usagers (Haywood et Koning 2015).

---

<sup>11</sup> Le ministère ne spécifie pas s'il s'agit du salaire médian brut ou du salaire médian après impôts. La comparaison internationale de Gwee et al. (2011) ne spécifie pas non plus de quel salaire il s'agit. Plusieurs études utilisent d'ailleurs le salaire moyen plutôt que le salaire médian. Dans Boardman et al. (2011), on s'appuie sur les travaux de von Wartburg et Waters (2004) pour suggérer l'utilisation du salaire moyen après impôt du groupe visé par l'économie (ou la perte) de temps.

**Tableau 2.1** Gains et coûts des analyses avantages-coûts en transport en commun

<b>Les bénéfices</b>	
Gains directs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration des temps de trajets pour les usagers existants et les nouveaux usagers</li> <li>- Amélioration de la qualité du service (confort, expérience, etc.)</li> <li>- Réduction des dépenses d'utilisation des véhicules automobiles pour les automobilistes ayant cessé d'utiliser leur voiture</li> </ul>
Gains indirects	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction de la congestion sur les routes (gains de temps pour les automobilistes et le transport de marchandise)</li> <li>- Amélioration de la sécurité routière</li> <li>- Réduction de la pollution (associée à la réduction de l'utilisation de l'automobile)</li> </ul>
Effets structurants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soutien la densité dans les centres-villes, ce qui génère des économies d'agglomération</li> <li>- Meilleur usage du sol (coût d'opportunité du sol)</li> </ul>
Autres considération	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valeur d'option (pour les non usagers)</li> </ul>
<b>Les coûts</b>	
Les coûts directs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts de construction des infrastructures</li> <li>- Coûts d'achat des véhicules</li> <li>- Coûts de fonctionnement (utilisation des véhicules, entretien des infrastructures, services à la clientèle, etc.)</li> </ul>
Les coûts indirects	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les effets de nuisance (effet barrière des infrastructures, bruit, etc.)</li> </ul>

Source : Les auteurs. Synthèse tirée de la revue de littérature.

Les autres gains directs des usagers du transport en commun sont les économies réalisées sur les autres modes de transport dont ils peuvent réduire l'utilisation. Ainsi, même si des usagers ayant migré de la voiture vers le transport en commun ne font pas de gains de temps, ils peuvent faire des économies sur les dépenses liées à la voiture (carburant, stationnement, etc.) Ces gains sont bien détaillés par Litman (2020).

Dans la mesure où l'amélioration de l'offre de transport en commun contribue au transfert modal de certains automobilistes vers le transport en commun, les gains directs du projet touchent aussi les usagers de la route. La réduction de la congestion routière qui en résulte apporte donc aussi des gains de temps pour les automobilistes ainsi que pour les services de transport de marchandise (Litman 2020).

Les études recensées vont également inclure la réduction des accidents routiers comme un bénéfice du transport en commun. Sur le plan de l'environnement, certains projets contribueront également à réduire les nuisances causées par le bruit, la pollution de l'air et les émissions de gaz à effet de

serre. Tout ça peut varier selon la localisation des projets, le type d'infrastructures et le type d'énergie associés aux différents modes de déplacement (Litman 2020).

Les effets structurants du transport en commun sur l'économie sont notamment évoqués par Bertaud (2018), Angel et Blei (2016) et Vickerman (2008). Selon eux, les transports en commun permettent d'accroître la densité des grandes villes et de mieux connecter les emplois et les travailleurs, ce qui permet de dégager des bénéfices associés aux économies d'agglomération. Les gains d'espace associés à un meilleur usage du sol sont aussi considérés comme des bénéfices par Bertaud (2018) et Litman (2020).

Un autre gain, souvent négligé dans les analyses avantages-coûts est celui de la valeur d'option (Gwee et al 2011). Selon Laird et al. (2009), les individus sont disposés à payer pour le transport en commun afin d'avoir plus d'options de déplacement si le besoin se manifeste, mais sans avoir l'intention nécessairement de l'utiliser. Dans ce cas, ils sont prêts à payer des impôts pour subventionner une nouvelle ligne de transport à proximité de leur domicile, seulement pour avoir l'option de l'utiliser lorsque la voiture tombe en panne, la route subit des travaux ou que la météo est inclémente, par exemple.

Quant aux coûts des projets de transport en commun, ils sont surtout associés au nombre de véhicules et au type d'infrastructure (Flyvbjerg et al. 2013, Tirachini et al. 2010). Ils sont généralement plus faciles à cerner puisqu'ils sont habituellement l'objet d'études en amont (Litman 2020).<sup>12</sup> Il est à noter que les ouvrages recensés développent généralement peu l'aspect des coûts. Cela s'explique probablement par le fait que tous les projets sont soumis à une évaluation des coûts en amont (ne serait-ce que partiellement à travers les processus d'appel d'offre notamment), mais qu'ils ne sont pas toujours l'objet d'une analyse avantages-coûts. Dans ce cas, la contribution des analyses avantages-coûts consiste surtout à l'évaluation des avantages, et cela semble être particulièrement vrai pour les projets de transport en commun (Litman 2020).

Les éléments présentés ici sont repris dans la partie 3 de ce rapport afin de structurer la discussion sur les avantages et les coûts associés à différentes options d'expansions de réseaux de transport structurants. La plupart des éléments associés aux bénéfices directs sont traités dans la section 3.1. Les bénéfices indirects sont surtout traités dans la section 3.2. Les effets structurants sont traités dans les sections 3.3 et 3.4 et les coûts dans la section 3.5. Avant d'y arriver, il convient cependant de définir les types d'expansion des réseaux de transport en commun dont il est question dans la présente étude.

---

<sup>12</sup> Plus faciles à cerner que les bénéfices indirects, par exemple. Cela dit, ils ne sont pas toujours d'une grande précision, comme le relève notamment Flyvbjerg et al. (2003).

## 2.3 Géométrie des réseaux et modalités d'expansion

De manière théorique, un réseau se définit par un ensemble de nœuds et de liens qui les relient (Beauguitte 2016). Ces liens et ces nœuds peuvent être de différentes natures et être représentés de différentes manières. Les liens entre les nœuds peuvent ainsi être orientés (relation dans un sens) ou non et porter différentes informations à leurs sujets, qualitatives ou quantitatives (par exemple, le nombre de trains par heure sur un tronçon donné). En outre, un réseau peut être analysé de différentes manières, dans son ensemble ou à partir d'un nœud donné afin de comprendre selon sa situation dans son réseau relatif.

Les sciences sociales soulignent bien la distinction entre l'analyse du réseau théorique et l'étude d'un réseau empirique dans la différence de l'approche à mobiliser (Beauguitte 2016). L'ancrage empirique d'un réseau, dans l'espace social ou géographique nécessite de prendre en compte le contexte, la matrice soutenant le réseau n'étant pas neutre. L'analyse des réseaux de transport par la théorie des graphes est assez développée et différents auteurs ont proposé des méthodes d'analyse basées sur cette approche. Celle-ci vise à apporter un ancrage théorique à des analyses empiriques de réseaux de transport existants dans leurs conceptions et leurs opérations (Musso et Vuchic 1988). Les réseaux de transport sont des réseaux dits « scale free » où peu de nœuds concentrent une part majeure des connexions (Cats 2017). Cette signature est typique des réseaux de constitution humaine.

Cette section présente d'abord quelques définitions sur la classification des réseaux de transport structurants selon la géométrie des lignes qui les composent. Elle précise ensuite la définition retenue des modalités d'expansions des réseaux par densification et par prolongement.

### *Géométrie des réseaux et types de lignes*

Concernant les réseaux de transport sur rail, Musso et Vuchic (1988) proposent différents indicateurs d'analyse. Tout d'abord, la forme et la taille des réseaux peuvent être approchées par le nombre de stations, la longueur des lignes, les stations de correspondances, le nombre de lignes ou le nombre de cercles possibles dans le réseau. La relation à la ville peut être appréhendée par la densité du réseau selon la superficie de référence, selon la population ou d'autres facteurs. Pour le niveau de services, de nombreux indicateurs sont mobilisables comme la vitesse moyenne, la fréquence de passage, la capacité de la ligne (par train ou par période), le nombre de trajets proposés par habitant ou par jour, par distance, etc.

Les formes géométriques simples des réseaux sont principalement celles des petits réseaux avec des lignes simples, des troncs communs, parfois circulaires en forme de I, U, S ou O (Walker 2012, Aldous et Barthelemy 2019). L'ajout d'une deuxième ou d'une troisième ligne génère des croisements en forme de croix, circulaires ou triangulaires (Aldous et Barthelemy 2019). La figure 1 montre un exemple de réseau simple, soit le métro de Miami.

Comme le souligne Aldous et Barthelemy (2019) et Musso et Vuchic (1988), la complexification de la géométrie des réseaux tend vers deux formes principales : les réseaux radiaux et les réseaux en grille. Tout d'abord, les réseaux radiaux sont constitués de lignes rayonnant du centre vers les banlieues. La demande est forte mais décroissante vers les banlieues. On peut citer le réseau de Chicago qui prend cette forme (voir figure 1). Ces réseaux peuvent être former des axes diamétraux en liant deux lignes radiales ensemble. La mise en relation diamétrale permet de supprimer la congestion à un terminus central mais nécessite de lier des radiales au trafic équivalent. En banlieue, certaines des lignes prennent aussi la forme de lignes « tronc » (*trunk*) à embranchement. Cette forme qui a ses avantages (coûts, regroupement des flux) présente toutefois un risque élevé de congestion et une exploitation complexe sur le tronc central. Cela conduit à limiter les opérations possibles. Ensuite, les lignes circulaires et tangentielles sont une autre caractéristique importante de ces réseaux. Celles-ci permettent de redistribuer le trafic autour du centre. Ce sont souvent des lignes très fréquentées. Ces lignes sont particulièrement importantes pour les villes multipolaires (Zhang et Chiaradia 2018).

L'autre forme principale est celle des réseaux en grille. Le métro de Mexico représente un exemple de ce type de forme (voir figure 1). Ces réseaux assurent une couverture large de la ville par la combinaison de lignes parallèles et tangentielles (Musso et Vuchic 1988). Ces réseaux concentrent moins les flux vers un point central mais présente l'inconvénient de nécessiter des correspondances pour réaliser un trajet. Les grilles irrégulières pourront être qualifiées de grilles modifiées. Le métro de Paris peut être qualifié de grille modifiée avec l'ajout de lignes tangentielles (voir figure 1).

Les réseaux de transports les plus importants présentent en général une géométrie irrégulière combinant les différentes géométries selon les lignes (Musso et Vuchic 1988). Le métro de Londres combine un réseau radial en banlieue complété par des bus et un réseau en grille dans sa zone centrale. On retrouve également une configuration complexe à Paris avec le RER (plutôt radial) qui se superpose au réseau de métro (en grille) (voir figure 1). Selon Aldous et Barthelemy (2019), les réseaux les plus longs (plus de 200km de lignes) sont les plus complexes dans leur forme et le nombre de lignes. Ces réseaux allient desserte radiale en banlieue et bonnes dessertes en grille au centre. Les redondances permettent les détours, ce qui améliore la robustesse des réseaux en cas de rupture de service (Cats 2017).

Figure 2.1 Principales formes des réseaux de transport urbain sur rail



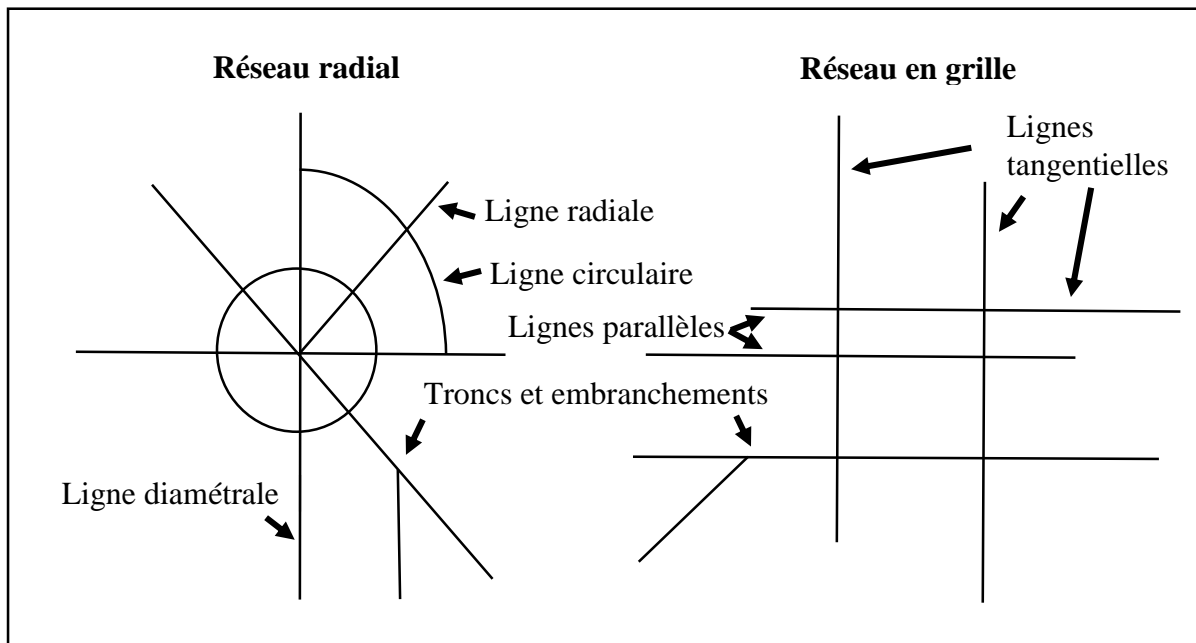
Source : Chicago Transit Authority (<https://www.transitchicago.com/maps/>) ; Gobierno de la Ciudad de México (<https://www.metro.cdmx.gob.mx/la-red/mapa-de-la-red>) ; RATP - Paris (<https://www.ratp.fr/plan-rer>) ; Miami Dade County (<https://www.miamidade.gov/transportation-publicworks/metrorail-stations.asp>)



La littérature sur le rendement optimal des réseaux d'un point de vue économique s'appuie relativement peu sur les configurations de réseaux complexes existants, comme ceux analysés par Musso et Vuchic (1988), Aldous et Barthelemy (2019) ou Roth et al. (2012). Les études sur les coûts et les bénéfices d'expansion des réseaux comme celles de Cats et al (2020) ou de Saidi et al. (2016) s'appuient plutôt une modélisation de réseaux radiaux prenant la forme du graphique de gauche dans la figure 2.2. La question posée dans ces études porte sur le choix d'expansion des réseaux par l'ajout de lignes radiales par rapport à l'ajout de lignes circulaires. Le travail de Le Tourneur (2016) sur les réseaux de tramway français adopte un vocabulaire différent. Il parle de maillage des lignes. Ce maillage peut prendre la forme de lignes radiales ou circulaires qui se croisent, comme dans le graphique de gauche de la figure 2, mais l'auteur réfère davantage à des typologies en grilles, souvent plus denses dans les zones centrales, mais qui sont composés de lignes parallèles ou tangentiels.

La complexité des typologies des réseaux recensées dans la littérature et le peu de d'études économiques disponibles sur les avantages et les coûts de ces réseaux par l'ajout de l'une ou l'autre des formes de lignes présentées dans les graphiques de la figure 2.2 rend difficile une revue de littérature ciblée sur les coûts et les bénéfices des expansions par type de ligne. Afin de se rapprocher de la question de départ, il faut donc définir la problématique autour des concepts de prolongement et de densification, ce qui exige quelques précisions.

**Figure 2.2** Types de réseaux et types de lignes présentés de manière graphique



Source : Les auteurs. Inspiré de Musso et Vuchic (1988) et Aldous et Barthelemy (2019).

## *Prolongement et densification*

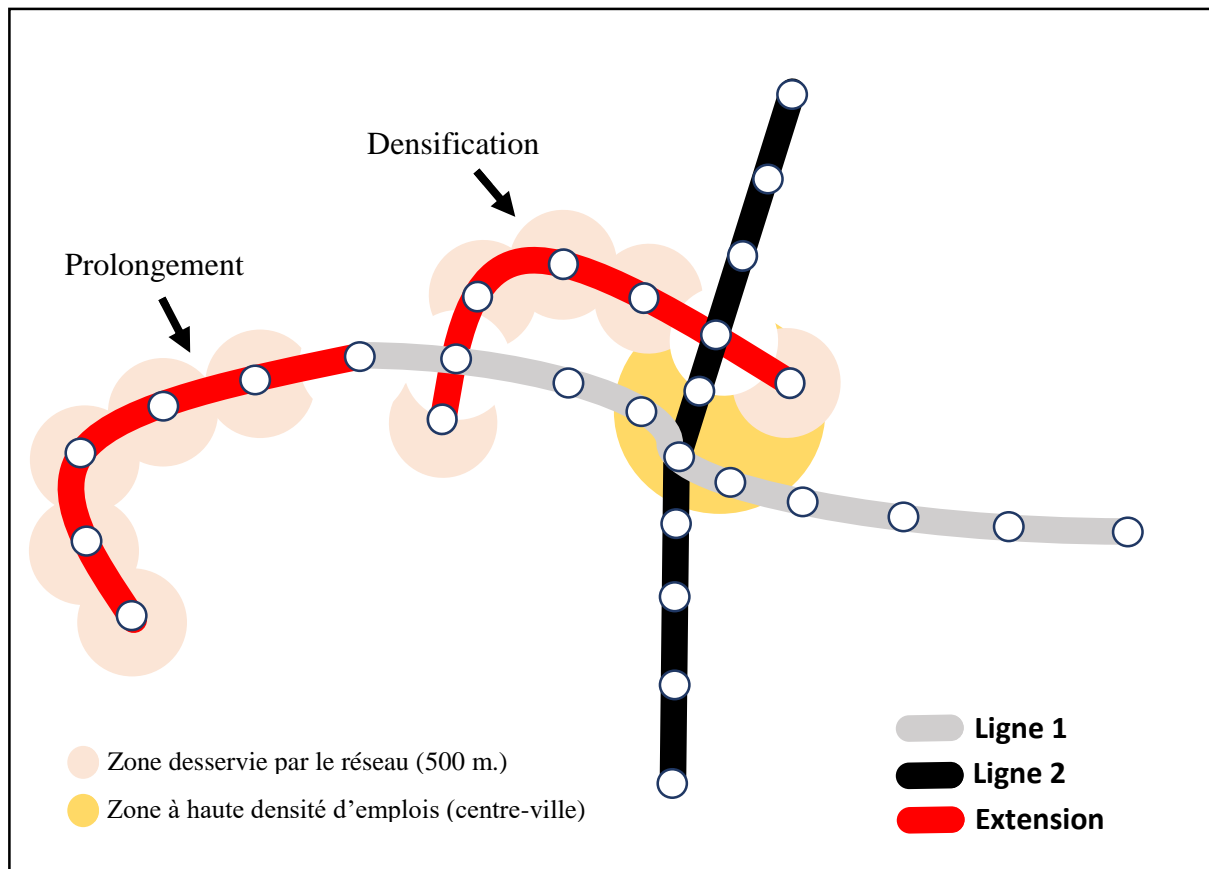
Le problème posé dans l'introduction de ce rapport est celui du choix entre l'évolution par étalement des réseaux plutôt que par densification. Dans la littérature que nous avons parcourue, les termes prolongement et densification ne sont pas vraiment utilisés. De manière empirique, Roth et al. (2012) observent une plus grande densité de stations dans ce qu'ils appellent le noyau central d'un réseau de transport structurant (considéré radial à l'origine), et des branches radiales qui s'étendent vers la périphérie. Nous partons de ces constats empiriques pour définir deux cas de figure relativement simples qui peuvent servir d'exemples types d'une forme de prolongement et d'une forme de densification. Ces deux cas de figure sont illustrés de manière schématique dans la figure 2.3. Dans cette figure, on présente un réseau très simple composé de deux voies radiales (diamétrales), soit les lignes 1 (grise) et 2 (noire) qui se croisent en périphérie du centre-ville. Dans la mesure où une expansion du réseau est prévue, vaut-il mieux miser sur un projet de densification ou de prolongement pour ce réseau ? Ces deux options sont illustrées par l'ajout de lignes rouges sur la figure. Ces deux lignes sont volontairement identiques dans leur longueur et dans le nombre de nouvelles stations à ajouter. Cela simplifie grandement toutes les hypothèses possibles au regard des coûts associés à ces deux ajouts puisqu'ils ne diffèrent que par le fait que l'une des options est considérée comme un prolongement alors que l'autre est considérée comme une densification. Parce que l'option de densification est maillée aux deux lignes existantes, elle contient toutefois plus de stations à modifier. C'est la raison pour laquelle elle contient en réalité une station de plus que l'option de prolongement. Cela devrait impacter légèrement à la hausse le coût de cette option.

En suivant la typologie présentée dans la section précédente (figure 2.2), on attribue au projet de prolongement les caractéristiques de l'ajout de service à une ligne radiale qui se prolonge en périphérie de la zone urbaine. Les nouvelles stations sont donc toutes localisées à l'extérieur de la zone centrale (où il y a une faible densité d'emploi). Elle n'est pas tangentielle, c'est-à-dire qu'elle ne croise aucune autre ligne. Elle n'offre donc pas d'opportunité de maillage. Quant au projet de densification, il est représenté ici par l'ajout d'une ligne circulaire. Cette ligne est tangentielle puisqu'elle croise plusieurs autres lignes, ce qui génère plusieurs opportunités de maillage. Elle est aussi située dans la zone que Roth et al. (2012) définissent comme le noyau du réseau et s'insère partiellement dans la zone économique centrale de la ville (où il y a une densité élevée d'emplois). Ces hypothèses ne cherchent pas à répliquer les caractéristiques de projets existants à Montréal ou ailleurs dans le monde. Le but de cet exercice est seulement de générer un contraste clair entre les deux options de manière à pouvoir plus facilement tirer des conclusions sur les avantages et les coûts de l'un par rapport à l'autre, ce que nous faisons dans le chapitre 3 et la section 4.1.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> La réalité est évidemment plus complexe et généralement moins contrastée que l'exemple présenté ici. L'ajout d'une voie radiale dans un réseau peut à la fois densifier le réseau la disposition de nouvelles stations dans le centre et par le maillage avec d'autres lignes, tout en se prolongeant à une distance importante vers la périphérie. Un tel projet aurait à la fois les caractéristiques de prolongement et de densification établis ici.

**Figure 2.3** Exemple de prolongement et de densification d'un réseau à deux lignes



Source : Auteurs.

De toute évidence, les coûts et les bénéfices associés aux deux options présentées dans la figure 2.3 dépendent de l'environnement dans lequel ils s'insèrent. Puisque l'option de densification se situe dans une zone plus centrale, on peut supposer qu'il s'agit d'un environnement à plus haute densité d'emploi et à plus haute densité d'habitation que l'option de prolongement, qui s'insère dans un milieu moins dense. Cela peut affecter l'achalandage de chacune des options, mais aussi les modes utilisés pour accéder aux stations. On peut supposer que les usagers de l'option densification accèdent majoritairement à la ligne de transport à la marche, alors que les usagers de l'option prolongement y accèdent par bus ou par voiture.

En ce qui concerne les coûts de construction et d'exploitation, on suppose qu'ils affectent de manière similaire les deux options d'expansion. Cela-dit, la disponibilité de l'espace n'est pas la même pour les deux projets. Le coût d'opportunité du sol devrait être plus élevé pour l'option densification qu'il ne l'est pour l'option prolongement, tout comme les nuisances liées à sa construction. On suppose donc que cette option est plus coûteuse en infrastructure.

Comme nous l'avons souligné déjà, il existe très peu d'études qui traitent des coûts et des bénéfices des différents types d'expansion des réseaux. Il existe toutefois plusieurs études qui traitent des contextes que nous associons ici aux deux modes d'expansion. La prochaine section de ce rapport reprend les éléments des études empiriques qui portent sur ces éléments contextuels en reprenant chacun des thèmes associés aux bénéfices et aux coûts d'expansion des réseaux tels qu'exposés dans la section 2.2. L'objectif est de trouver des distinctions entre les coûts et les bénéfices propres aux projets de prolongement de ceux associés aux projets de densification. Les options illustrées dans la figure 2.3 guident notre réflexion dans ce sens.

### **3. Facteurs agissants sur les coûts et les bénéfices**

Suivant les éléments soulevés dans le cadre théorique, et tirés des études avantages-coûts portant sur les réseaux de transport en commun, comme celles de Litman (2020), Weisbrod et al. (2017), et Gwee et al. (2011), nous avons identifié cinq thèmes d'intérêt issus du tableau 2.1 permettant d'alimenter la réflexion sur la question des bénéfices et des coûts tirés des prolongements ou de la densification des réseaux de transport structurants. Ces thèmes sont : 1) les bénéfices du réseau pour les usagers ; 2) les bénéfices associés au transfert modal ; 3) les effets structurants ; 4) les opportunités foncières ; et 5) les coûts des différents modes utilisés. Deux thèmes s'ajoutent à cette liste, soit : 6) les enjeux d'équité sociale ; et 7) les considérations politiques. Ces derniers ne découlent pas nécessairement de la logique de l'analyse avantages-coûts, mais ils sont tout de même déterminants dans le processus décisionnel en amont des projets de prolongement ou de densification d'un réseau structurant. Les constats tirés de la revue de littérature sont organisés ici autour de ces sept thèmes.

#### **3.1 Les bénéfices du réseau pour ses usagers**

Comme mentionné dans la section 2.2, parmi les principaux bénéfices directs de l'amélioration des services de transport en commun se trouvent les gains de temps potentiels pour les usagers du réseau et l'amélioration du confort. A cet effet, Wang et al. (2020) et Vuchic (2007) soutiennent que les voies circulaires et tangentielles améliorent la connectivité du réseau, réduisent la longueur des trajets qui n'ont pas le centre-ville comme destination, permettent une plus grande résilience (ou robustesse) du service en cas de pannes et contribuent à mieux desservir les aires péricentriques. Ces bénéfices seraient plus importants, selon Saidi et al. (2016), lorsque l'activité économique se répartit sur plusieurs pôles d'emploi autour du centre-ville. Cats et al. (2020) montrent également que l'ajout de voies circulaires peut faire baisser les distances parcourues par les usagers, mais nuancent ces gains en tenant compte des coûts associés à la complexification des réseaux. À la lumière de ces études, il semble que les projets de densification apportent des bénéfices tangibles aux usagers du réseau.

Les bénéfices directs associés à la construction de voies circulaires ou au dédoublement des lignes est encore plus important lorsqu'il y a présence de congestion dans le réseau (Courel et Deguitre 2020). Cette congestion peut apparaître sur des points précis (points de transfert) ou sur des tronçons fortement achalandés. Dupuy (1993) montre notamment que la configuration en grille du réseau de métro de Paris permet de disséminer les centralités liées aux transferts. Les études de Haywood et al. (2018), Haywood et Koning (2015) et Tirachini et al. (2014) montrent que les effets externes de la congestion dans les transports en commun peuvent être importants. Ils entraînent une baisse de l'expérience voyageur et ont des effets sur la santé ou la productivité des usagers en raison du stress généré (Haywood et al. 2018). Haywood et Koning (2015) estiment que le coût du temps passé dans les transports en commun peut atteindre une valeur de 34 % supérieure en période

de pointe lorsqu'on tient compte des désagréments de la congestion. Il existerait selon eux une volonté à payer substantielle de la part des usagers pour une amélioration du service ayant pour effet de réduire la congestion du réseau. Il faut souligner que, selon ces auteurs, ce ne sont pas les pertes de temps qui sont les plus dommageables lorsqu'il y a congestion dans le réseau. Les trains sont à l'heure, même lorsqu'il y a congestion. Les coûts associés à la congestion seraient alors selon eux essentiellement dû aux inconforts.

Bien que la densification semble générer des effets bénéfiques tangibles pour les usagers du réseau, il existe aussi des bénéfices associés au prolongement des lignes. Sur une même ligne, l'accroissement de l'achalandage causé par un prolongement peut justifier une bonification des fréquences des services, ce qui accroît la qualité des services pour les usagers sur l'ensemble de la ligne, qui voient leurs options s'améliorer grâce aux nouveaux usagers (Mohring 1972). Nelson et al. (2007), Proost et Van Dender (2008) et Basso et Jara-Diaz (2010) estiment qu'il s'agit d'un bénéfice non négligeable de l'expansion des réseaux. Cela dit, l'effet Mohring ne s'applique pas seulement aux projets de prolongements, mais aussi aux projets de densification. Il est toutefois probable que les prolongements facilitent davantage l'accès des nouvelles clientèles aux réseaux (parce qu'ils s'étendent dans des zones auparavant non desservies). On peut donc supposer que l'effet Mohring est plus important dans le cas d'un prolongement de réseau que dans celui d'une densification.

Plusieurs études ont tenté de comprendre la dynamique de développement des réseaux. Elles constatent que les périodes densification et de prolongement ont tendance à se succéder. Aldous et Barthelemy (2019) observent que les réseaux à ligne unique ont d'abord une forme optimale en C, puis en croix avec l'ajout d'une seconde ligne. Les voies circulaires apparaissent lorsque l'ajout de radiales n'améliore plus l'accessibilité (lorsqu'il y a présence de congestion). Le diamètre de celles-ci augmenterait en fonction de la densité de la population et de la longueur des branches radiales. Selon Roth et al. (2012), il existe une certaine constante entre le nombre de branches et le nombre de stations d'un réseau. De même, la distance entre les stations tend à s'accroître en fonction de la distance au centre du réseau. Ces régularités mathématiques observées dans les réseaux font dire à Roth et al. (2012) que le développement des réseaux suit une logique déterministe, relativement indépendantes des conditions économiques et géographiques des lieux où ils sont implantés.

En étudiant l'évolution du réseau de métro de Stockholm, Cats (2017) observe que les points centraux du réseau ont eu tendance à conserver leur importance dans le temps. Le centre du réseau est aujourd'hui plus maillé qu'à l'origine et la centralité se partage plus équitablement entre plusieurs nœuds (possibilité de transfert). Dans les phases plus récentes de développement, les extensions ont été moins longues relativement à la longueur du réseau, et contribuent à hausser le nombre de nœuds et de liens. Cette hausse est particulièrement concentrée au centre de la ville où des correspondances nouvelles ont été créées, améliorant l'accessibilité du péricentre.

Les réseaux contemporains de tramways français semblent avoir suivi la même tendance de développement. Suivant Le Tourneur (2016), leur extension a conduit à une saturation des troncs communs centraux et à la congestion des points d'échanges entre les lignes. Plusieurs réseaux ont alors procédé à la duplication des axes les plus achalandés. À Strasbourg, cet impératif a permis de mieux desservir des secteurs fréquentés proches du centre, mais évité par le réseau initial, dont l'Université et le quartier du parlement. À Grenoble, la réalisation d'une ligne circulaire a permis de requalifier un axe très orienté vers la circulation routière, ce qui a amélioré la qualité de vie sur ce boulevard contournant le centre-ville. À Montpellier, le maillage a pris la forme d'une rocade autour du centre qui permet en cas de rupture du trafic de dévier les lignes des tronçons impactés (Le Tourneur 2016). La multiplication des lignes sur des voies communes qui se croisent a toutefois largement complexifié l'exploitation du réseau (Dupuy 2016). Certaines villes, dont Genève, ont d'ailleurs fait le choix de simplifier leur réseau après une phase d'exploitation maillé avec de nombreux troncs communs, ce qui a permis une hausse des vitesses d'exploitation, mais aussi une baisse des correspondances possibles (Audikana et al. 2015).

L'exemple allemand de maillage présente une alternative intéressante. Les villes allemandes intègrent des lignes de tram dans la desserte fine du périurbain dans un vaste périmètre. Ces réseaux convergent en ville sur des troncs communs qui peuvent prendre la forme de prémétro souterrain permettant une séparation dans les zones denses des trafics et une exploitation plus simple (Fleurian 2016). Cette solution permet l'exploitation fine du centre dense en infrastructure dédiée et la desserte sur de plus longues distances des banlieues et des aéroports, parfois par un partage de l'infrastructure avec les trains classiques. Le choix de tronc commun nécessite par contre une régularité entre les trains et présente un risque de congestion. Le maillage est ici aussi mobilisé pour décharger les axes principaux et pour créer des centralités secondaires (Fleurian 2016).

Au final, on remarque que c'est souvent la congestion des lignes du réseau qui conditionne les modalités d'expansion. Lorsque les stations ou les tronçons centraux du réseau montrent des signes de congestion, les projets de densification amènent des bénéfices plus importants, alors que lorsque certaines lignes sont moins achalandées, leur prolongement peut accroître l'achalandage du réseau et entraîner une bonification l'offre de service pour l'ensemble des usagers.

### **3.2 L'impact sur la mobilité à l'échelle de la ville**

Les bénéfices des projets d'expansion des réseaux de transport en commun structurants ne se limitent à l'amélioration des temps de trajet ou au confort des usagers. En fait, une bonne part des bénéfices associés aux projets de transport en commun découlent de leur capacité à réduire les déplacements en automobile (Litman 2020). Or, on peut se demander à quel point les différentes configurations de réseau arrivent à convertir les automobilistes au transport en commun ?

De tous les modes, Courel et Deguire (2020) affirment que ce sont les réseaux structurants de transport urbain sur rail qui sont les plus efficaces pour faire renoncer à la voiture. L'attrait de ces

réseaux serait d'ailleurs influencé par leur topologie. En mettant en lien l'achalandage, la connectivité, la couverture du réseau et la redondance des liens, Derrible et Kennedy (2009) montrent que la couverture augmente le nombre d'utilisateurs, mais que cette augmentation est marginalement décroissante par kilomètre supplémentaire. Au final, ce sont les réseaux avec la meilleure connectivité et le plus de liens directs qui sont les plus achalandés. Encore une fois, cela suggère un dosage entre prolongement (pour accroître l'achalandage) et densification (pour maintenir un achalandage élevé).

Selon Winston et Maheshri (2007), lorsque les réseaux ne sont pas adéquats pour répondre aux besoins de mobilité de la population, leur effet reste négligeable sur le choix modal. De plus, lorsque les réseaux structurants sont construits en surface, ils peuvent générer des effets de barrière et affecter négativement les mobilités actives qui les nourrissent (Héran 2011). Des études menées à Vancouver et à Séoul trouvent des valeurs foncières moindres autour de lignes de transport en surface que des lignes en souterrain (Eftekhari 2018, Lee et Sohn 2014). Cela s'explique par la présence de nuisances causées par le bruit, les vibrations et l'effet de coupure de l'infrastructure.

Dans la mesure où les réseaux de transport en commun arrivent à réduire les déplacements en automobile, cela devrait entraîner ultimement une réduction de la congestion routière. Cette relation a été mesurée par plusieurs études. À Los Angeles, par exemple, une étude menée sur la grève des transports collectifs de 2003 indique que l'arrêt des services a impacté négativement la congestion routière (Anderson 2014). Cet impact s'est traduit par un ralentissement du trafic routier, particulièrement dans les secteurs où le transport en commun était normalement disponible. Les auteurs estiment que le gain du transport en commun représente entre 1,40 \$ et 4,75 \$ par kilomètre/passager en heure de pointe à Los Angeles en raison de la réduction de la congestion routière.<sup>14</sup> Une étude similaire menée par Adler et van Ommeren (2016) à Rotterdam constate qu'une grève a provoqué une augmentation marginale de la congestion en semaine dans la périphérie, mais que l'impact a été substantiel dans le centre-ville. Ces derniers calculent que l'allègement de la congestion provenant du transport en commun équivaut à environ la moitié de sa subvention (subvention qui couvre environ 60 % des dépenses totales). Une étude menée à Melbourne par Nguyen et al. (2017) estime également les effets du tramway sur la congestion routière. En interrogeant les usagers sur leurs options en cas de fermeture d'une ligne de tram, ils ont pu estimer le potentiel de transfert modal du réseau. Même si le report vers la voiture reste limité (26% des utilisateurs interrogés envisagent migrer vers la voiture), les auteurs estiment que l'effet sur la congestion est significatif dans le centre-ville où le réseau routier est déjà saturé, mais moins dans les zones périphériques. Yang et al. (2018) observent également une baisse de la congestion à Pékin suite à l'ouverture d'une nouvelle ligne de métro, mais pour une courte période de temps seulement.

---

<sup>14</sup> L'étude présente des valeurs entre 1,20 \$ USD et 4,10 \$ USD par mile/passager en 2003. Avec un taux de change en 2003 de 1,40 \$ et une inflation de 32 % depuis 2003, nous obtenons 2,20 \$ à 7,60 \$ par mile aujourd'hui. La donnée dans le texte est convertie en kilomètre.



Plusieurs auteurs montrent que la densité d'emploi et la densité résidentielle sont corrélées avec le taux d'utilisation des transports collectifs lourds (Barnes 2005, Bertaud et Richardson 2004). Mais la densité ne serait déterminante que lorsqu'elle est accompagnée d'un cadre bâti favorable à la marche (Ingvardson et Nielsen 2018, Sun et al. 2017, Stocker et al. 2015). Dans tous les cas, on considère que les usagers résident généralement près des accès au réseau. À cet effet, El-Geneidy et al. (2014) montrent que la distance médiane parcourue pour se rendre à une station du métro de Montréal est d'environ 530 mètres. Cette distance est toutefois de 785 mètres pour les trains de banlieue, qui circulent dans des milieux moins denses. Une illustration des limites de la densité est observée à Toronto par Filion et al. (2006). Selon eux, les anciennes banlieues aujourd'hui intégrées à la ville ont accueilli dans les années 1960 des ensembles de tours isolés le long de grands axes routiers suivant le modèle de « *tower in the park* ». Ces ensembles constituent des poches isolées de densité importante. Pourtant, la déconnexion entre ces ensembles et les réseaux de transport rend complexe l'usage des transports en commun. L'environnement autour de ces immeubles et leur isolement dans des banlieues peu denses rendent leur desserte complexe et peu compétitive.

Sachant que les quartiers plus denses arrivent à générer un achalandage plus important du transport en commun, on serait tenté de conclure qu'un projet de densification de réseau de transport structurant dans un quartier central plus dense de la ville a un impact plus grand sur la conversion des automobilistes au transport en commun qu'un prolongement vers des quartiers périphériques moins denses. Cette conclusion possible est renforcée par le fait que l'impact du transport en commun sur la congestion routière semble surtout important dans les quartiers centraux. Cela dit, il est difficile de savoir à quel point les voitures retirées de la circulation lors de la mise en service d'une ligne de transport en commun proviennent réellement des usagers des quartiers centraux ou des quartiers périphériques. Il est possible, comme le prétend Chatman (2013), que les facteurs influençant le renoncement à la voiture soient principalement liés à la diversité des activités à pied pour les trajets du quotidien ne nécessitant plus l'automobile plutôt que les trajets longs vers l'emploi au centre-ville. Les conditions routières détermineraient la place de l'automobile dans un quartier, bien plus que le transport collectif (Knowles et al. 2020, Chatman 2013, Kaufmann 2003). Dans ce cas, l'ajout d'une nouvelle ligne de transport structurant dans un quartier central dense et déjà piétonnisé n'aurait pour effet que de rabattre des usagers déjà convertis vers le réseau, voire des adeptes des transports actifs.

Les études recensées montrent donc un impact des projets de transport en commun structurants sur le transfert modal de la voiture vers le transport en commun. En matière de bénéfices, cela implique des économies sur l'usage des véhicules et des espaces de stationnement conséquents. Cela implique également une réduction de la congestion sur les routes, donc une économie de temps pour les non usagers du transport en commun. La réduction du nombre de voitures entraîne également une amélioration de la sécurité sur les routes et une réduction de la pollution due à l'usage de l'automobile. Tout ça découle des liens établis dans le chapitre précédent et des résultats

empiriques rapportés ici. Ces résultats ne sont toutefois pas spécifiques à des projets de prolongement ou de densification des réseaux. On constate toutefois que la conversion des automobilistes est plus probable grâce à des prolongements de réseau vers la périphérie où les automobilistes sont plus nombreux. Cela dit, la densification des réseaux se fait généralement sur des territoires où les habitants sont davantage disposés à prendre le transport en commun, mais ces derniers ne sont pas nécessairement des automobilistes. Dans ces circonstances, il est difficile de départager lequel des deux types d'expansion des réseaux peut avoir le potentiel de convertir le plus d'automobilistes au transport en commun.

### **3.3 Les effets structurants**

De manière intuitive, on peut supposer que le prolongement des lignes des réseaux de transport en commun structurants qui desservent la périphérie a un impact plus important sur l'étalement urbain que pourrait avoir un projet de densification. On pourrait également croire que les prolongements contribuent davantage à redistribuer les emplois vers la périphérie qu'à nourrir le centre-ville en main-d'œuvre, fragilisant ainsi la position économique du centre-ville dans l'aire urbaine. Ces deux postulats sont toutefois relativement mal appuyés par les recherches que nous avons recensées.

Prenons d'abord la question de l'étalement urbain. Une étude historique menée par King (2011) sur le développement du métro de New York conclut que le développement résidentiel hors de Manhattan n'a pas suivi l'implantation du métro mais l'aurait plutôt précédé. À Londres, Wolmar (2012) prétend quant à lui que les compagnies ayant développé le métro ont volontairement prolongé les lignes en territoires peu denses afin de spéculer sur l'étalement urbain. Bien qu'il y ait corrélation entre le développement des réseaux structurants de transport en commun et l'étalement urbain, il y a ambiguïté sur le sens de cette relation. Selon Gonzalez-Navarro et Turner (2018), la baisse des coûts de transports générés par le développement des réseaux de transport structurants conduit à une multipolarisation de l'activité économique. L'implantation du métro n'influence pas l'arrivée de population mais redistribue la population déjà présente. C'est donc dire que le développement des réseaux de métro, sans égard à leur prolongement ou à leur densification, contribue à l'étalement urbain. L'effet sur l'étalement des réseaux de transport collectif serait par contre 10 fois moindre que celui de l'implantation d'une nouvelle autoroute.

Concernant l'activité économique, la littérature indique des tendances diverses. En Chine, deux études concluent à une dispersion de la population mais à une concentration des emplois au centre de la ville associé au développement du réseaux de transport structurant (Zhang et al. 2017, Zhang 2020). Les auteurs notent que les réseaux de transport n'affectent pas seulement la mobilité des travailleurs, mais aussi celle des biens et des marchandises qui sont liés à d'autres réseaux de transports. Plusieurs auteurs abordent la question de l'importance des retombées économiques dans l'analyse des projets de développement des réseaux, mais sans apporter toutefois d'éclairage sur la question de la vitalité des centres ou l'étalement urbain (Legaspi et al. 2015, Weisbrod et al. 2017). La littérature reste donc assez circonspecte sur les effets de l'implantation d'une nouvelle ligne de

transport urbain. Les effets sont peu détectables, varient selon les contextes et peuvent renforcer les centres existants ou conduire à la création de pôles secondaires.

L'avertissement d'Offner (1993) sur le mythe de la structuration des transports doit être rappelé. Les infrastructures ne sont pas suffisantes et leurs contextualisations dans l'urbain en général sont essentielles. Il n'y a pas d'automatisme. Bien que le mythe ait été remis en cause par les milieux scientifiques, les élus tendent toujours à le mobiliser (Offner 2014). Les infrastructures sont des facteurs favorisant une certaine forme de développement urbain mais ne sont pas déterminants. D'un autre côté, plusieurs auteurs soutiennent que le transport en commun est un support important à la densité urbaine et qu'il conditionne les économies d'agglomération (Bertaud 2018, Angel et Blei 2016, et Vickerman 2008). Cela résulte toutefois autant du prolongement des réseaux qui s'étendent vers la périphérie pour y puiser les employés nécessaires à l'activité économique du centre-ville, que de la densification du réseau qui permet de soutenir des interactions économiques très denses au centre. Bref, il faut comprendre de toutes ces études qu'il est très difficile de démontrer l'impact des infrastructures sur la structuration des activités économiques dans l'espace. Même lorsqu'il y a corrélation, le sens de la relation n'est pas clair. Ainsi, les effets structurants ne représentent probablement pas un critère déterminant dans le choix de la densification ou du prolongement des réseaux de transport en commun structurants.

### 3.4 Les opportunités foncières

Le coût d'opportunité du sol est une variable importante à prendre en compte dans l'analyse des coûts et des avantages d'un projet d'expansion de réseau de transport en commun structurant (Litman 2020). Le développement du réseau peut aider à atteindre divers objectifs d'aménagement du territoire en réduisant les superficies nécessaires aux routes ou aux espaces de stationnement et favoriser un réaménagement plus compact (Banister et Thurstain-Goodwin 2011). Bertaud (2018) utilise l'exemple du métro de New York pour montrer comment les bénéfices en matière de création d'espace peuvent compenser le coût parfois très élevé de certaines infrastructures. Ainsi, le coût de construction très élevé de 2,1 milliards \$ par kilomètre du Second Avenue Subway entré en fonction en 2017 se justifie par la valeur également très élevée du sol à cet endroit<sup>15</sup>. Le coût du métro divisé par sa surface est relativement équivalent au coût de la valeur foncière du sol dans le quartier où il est localisé, soit près de 78 000 \$ le mètre carré (p.177)<sup>16</sup>. Cet exemple est exceptionnel, autant par la valeur du projet de transport, dont le prix s'écarte grandement des fourchettes établies par Flyvbjerg et al. (2008) (voir section 3.5), mais aussi par celle des valeurs foncières au cœur de Manhattan. L'espace dégagé par les projets de transport en commun est évidemment plus important lorsque ces derniers sont en souterrain ou en aérien (Bertaud 2018, p.176). Les projets en site propre ou non à la surface ne permettent pas de dégager ces bénéfices,

---

<sup>15</sup> 1,6 milliard \$ USD

<sup>16</sup> 60 000 \$ USD

et peuvent même entraîner des nuisances causées par le bruit, la pollution ou les effets de barrière (Song et al. 2019).

La récupération foncière permet aux planificateurs de revoir le développement urbain. Les projets de revalorisation sont toutefois plus faciles à mettre en place quand l'espace avoisinant n'est pas déjà occupé par une zone résidentielle, où des effets d'inertie et de fragmentation limitent les possibilités (Bertaud et Richardson 2004). Certains auteurs indiquent que la transformation de zones commerciales semble plus facile à réaliser (Barnes 2005) que celle d'un quartier résidentiel. La plus faible fragmentation de la propriété et la moindre intensité capitalistique du bâti pourrait expliquer cette observation. À Madrid, par exemple, l'ouverture d'une nouvelle ligne de métro en banlieue s'est traduite par un redéveloppement immobilier autour des stations de métro, mais principalement dans les interstices entre les zones urbaines déjà constituées (Calvo et al. 2013).

Il existe également toute une littérature sur les prix immobiliers autour des infrastructures de transport. Elle conclut en général à une hausse des prix aux environs des infrastructures nouvelles de transports ou à proximité des lignes de transport public (Song et al. 2019, Eftekhari 2018, Trojanek et Gluszak 2018, Higgins et Kanaroglou 2016). Ce phénomène ne constitue toutefois pas un bénéfice des réseaux de transport. La hausse des valeurs peut être perçue comme un gain pour un propriétaire vendeur, mais constituera un coût pour un acheteur potentiel. L'un dans l'autre, les deux effets s'annulent. Cela dit, si les valeurs foncières sont plus élevées près des réseaux de transport, c'est que ces localisations sont avantagées sur le plan de la mobilité. En fait ce sont les avantages standards associés au projet comme les gains de temps ou les économies sur les autres modes qui sont capitalisés dans les valeurs des propriétés. D'ailleurs, Lee et al. (2018) observent que les propriétés à proximité des stations ayant connu les meilleurs gains d'accessibilité par le déploiement du réseau de métro de Séoul (espaces accessibles en un temps donné) sont également celles qui ont connu la plus forte hausse de leurs valeurs foncières. Les stations centrales sont elles aussi concernées vu que leur accessibilité vis-à-vis du reste de la ville s'est également améliorée. Ces résultats laissent entendre que les projets de densification améliorent davantage les bénéfices de localisation que les projets de prolongement pour les résidents des quartiers desservis.

On constate au final que l'impact des projets de transport en commun structurants sur la récupération foncière dépend davantage des types de projets (souterrain) et des milieux dans lesquels ils s'insèrent (haute densité) que le fait d'être une ligne tangentielle ou un prolongement. Les projets de densification sont tout de même plus susceptibles d'être construits en souterrain et d'appuyer une activité économique dense. Mais les projets de prolongement ont également le potentiel de stimuler le redéveloppement urbain. Après tout, si les opportunités de redéveloppement se trouvent dans la périphérie, le fait d'y attacher un prolongement du réseau structurant peut représenter une occasion pour revaloriser l'espace de manière plus convaincante que l'ajout de services sur un territoire central dense déjà très développé et qui offre peu de possibilités de modification du cadre bâti.

### 3.5 La contrainte des coûts

Dans l'analyse avantages-coûts, on utilise généralement comme critère de base que la valeur totale des avantages des projets réalisés surpasse les coûts. La notion de coût est donc critique à la décision de développer ou non les réseaux. Il arrive toutefois souvent que les gestionnaires se limitent à la colonne des coûts, sans égard aux bénéfices qui leur sont associés. Bertaud (2018) présente quelques données comparatives sur les réseaux de métro et les réseaux de SRB. Il en conclut que les meilleurs réseaux de SRB n'arrivent généralement pas à offrir les mêmes gains de déplacement en matière de capacité et de vitesse que les pires réseaux de métro (p. 196). De son côté, Tirachini et al (2010) calcule que le coût supplémentaire des réseaux de transport sur rail ne se justifie que lorsque la vitesse est très grande afin de compenser les coûts supplémentaires de telles infrastructures par rapport aux SRB. Autrement, le rendement du SRB est toujours supérieur. Évidemment, ces comparaisons escamotent certaines variables fondamentales. Les valeurs du temps et du sol ne sont pas la même partout. L'implantation d'un SRB à Mahattan, par exemple, pourrait être très coûteuse en espace et la perte de vitesse serait très coûteuse en temps. L'inverse peut toutefois être observé dans les villes où la valeur du sol et la valeur du temps sont plus faibles<sup>17</sup>.

Bien que les coûts soient spécifiques à chaque projet, Flyvbjerg et al (2008) établissent des fourchettes à l'aide de données comparatives sur un ensemble de projets répertoriés dans différents pays. En général, le coût au kilomètre des réseaux de transport structurants se situent entre 110 millions et 320 millions \$<sup>18</sup>. Les travaux de Fox (2000) montrent toutefois que les coûts peuvent être multipliés par plus de deux lorsqu'on passe d'un réseau au sol à un réseau aérien et qu'ils peuvent être multipliés par un facteur variant entre 4 et 6 lorsqu'on passe en mode souterrain. On comprend alors qu'il faut avoir des bénéfices importants pour justifier des réseaux souterrains. Cette justification se trouve généralement lorsque les valeurs foncières et les revenus moyens sont très élevés, ce qui a plus chance de se produire dans les centres-villes des grandes villes.

Comme nous l'avons mentionné au chapitre précédent, les études scientifiques sur les coûts sont plus rares que les études sur les éléments de bénéfices. Au regard de la densification ou du prolongement, les éléments de contexte présentés dans la section 2.3 nous amène à conclure que les projets de prolongement offrent des options de construction meilleur marché que les projets de densification. Ces derniers sont soumis à des coûts d'acquisition des terrains plus élevés. Ils sont plus susceptibles d'être construits en souterrain. Les coûts d'expropriation, s'il y a lieu, et les entraves à la circulation seront également plus importants dans les projets de densification.

---

<sup>17</sup> Bertaud (2018) reprend notamment l'exemple des villes brésiliennes telles que Curitiba (p. 193).

<sup>18</sup> Entre 50 millions et 150 millions \$USD de 2002. Converti au taux de change de 2002 de 1,57 et en ajoutant l'inflation de 2002 à 2020, soit 37 % (IPC Canada).

### 3.6 La question de l'équité

En général, les études avantages-coûts sont insensibles aux inégalités. En pratique, les décideurs le sont toutefois moins (certains d'entre eux du moins). C'est la raison pour laquelle il nous semble important d'inclure la question de l'équité sociale dans notre analyse, même si elle découle davantage de considérations politiques que du cadre d'analyse auquel nous nous sommes astreints jusqu'à présent.

Les publics des transports collectifs sont variés, mais les ménages à faibles revenus, ayant peu accès à l'automobile constituent une population plus dépendante du transport public, notamment pour l'accès à l'emploi (Ingvardson et Nielsen 2018). Ces populations sont donc à prendre en compte de manière prioritaire lors de la planification des transports publics en raison de l'absence d'alternative pour leurs mobilités. Si les politiques de transports prennent en compte cet enjeu, la formalisation dans les plans de transport reste peu explicite et éclatée (Manaugh et al. 2015). En outre, la diversité des groupes désavantagés nécessite des actions multiples dont les effets sont difficilement mesurables, ce qui peut décourager leur poursuite.

Si la mobilité est aujourd'hui une nécessité, son accès est inégalement réparti et la ségrégation sociale en ville renforce les difficultés de certains groupes (Bacqué et Fol 2007). Les luttes observées en Californie contre les métros illustrent le caractère politique de ces enjeux (Bénit-Gbaffou et al. 2007). Leur intégration dans la planification d'une infrastructure doit permettre d'assurer un accès équitable à tous à la mobilité en s'assurant de prioriser les individus sans alternative. Les travaux de Garrett et Taylor (1999) présentent bien à cet égard le dilemme entre les efforts pour réduire la place de l'automobile dans la ville en prolongeant les réseaux structurants vers les banlieues où se trouvent les automobilistes plutôt que de concentrer les investissements vers les populations ayant les plus grands besoins en transport en commun.

Pang (2017) montre à cet égard que l'amélioration des réseaux de transports aux États-Unis aide positivement les travailleurs pauvres à se trouver un emploi. Cet impact est plus important pour les réseaux de métro et pour les tramways que pour les autobus, car ils permettent d'accéder à un bassin d'emploi plus large. Les effets sont visibles sur les salaires obtenus dans le cas de l'implantation d'une ligne de métro, malgré les effets des temps partiels dans l'emploi. La situation états-unienne est compliquée par la dispersion de l'emploi en banlieue qui rend complexe leur accès aux travailleurs pauvres dépendant du transport collectif (Foth et al. 2013). Cette mise à distance des quartiers défavorisés est relative à l'emploi, aux lieux de loisirs ou d'étude et est aggravé, au-delà de la distance, par les conditions d'accès de ces services. Le transport collectif est un facteur essentiel de l'amélioration des conditions d'emploi des travailleurs pauvres, bien plus que d'habiter proche de son lieu de travail. Le potentiel de bassin d'emploi offert par le transport collectif les favorise en ayant accès à des emplois mieux payés ou plus appréciés, mais il favorise également les entreprises qui trouvent des employés plus adaptés à leurs offres (Foth et al. 2013).

À Londres, un article de Cao et Hickman (2019) portant sur l'implantation de nouvelles stations sur la Jubilee line insiste sur le développement des capacités (potentiels d'action) par la mobilité. L'accessibilité n'est pas suffisante, il faut également que les populations soient capables de saisir les possibilités offertes par l'infrastructure. L'intégration d'initiatives locales lors de la planification peut ainsi développer l'approche de la mobilité dans les quartiers nouvellement desservis. L'étude de Foth et al. (2013) menée à Toronto entre 1996 et 2006 indique que l'accès au transport collectif des populations défavorisées s'est amélioré par les investissements réalisés. Les auteurs affirment que l'objectif de l'équité sociale dans l'accès au transport collectif est à promouvoir afin d'offrir un accès égal à tous au choix de mobilité. Une autre étude menée à Montréal conclut elle aussi à un accès assez équitable des ménages défavorisés à la mobilité en transport collectif par rapport aux ménages des autres quartiers (El-Geneidy et al. 2016). Cette étude a cependant été menée à l'échelle de la Communauté métropolitaine (CMM), et la concentration des ménages à faible revenu dans les quartiers centraux plus denses peut expliquer ce résultat.

L'enjeu de l'équité d'accès entre les groupes sociaux reste cependant à nuancer. La faisabilité des projets en fonction de la réalité géographique doit entrer dans la réflexion. Selon Foth et al. (2013), on peut améliorer l'équité en maximisant l'accès moyen au transport collectif tout en maintenant un certain minimum pour tous. Les auteurs proposent de prendre en compte différents indicateurs sociaux de manière cumulative pour déterminer les secteurs désavantagés. Cette approche a été mobilisée à Montréal dans le cadre d'une thèse (Manaugh 2013). Cette thèse conclut que les gains tirés des projets prévus au plan de transport de Montréal sont inégalement répartis entre les quartiers et que ces derniers n'apportent pas la même amélioration à tous les ménages pour l'accessibilité à l'emploi. Conséquemment, le développement de transports publics dans l'Est (comme le SRB Pie IX et le prolongement de la ligne bleue) peut avoir un impact significatif sur l'amélioration de l'accessibilité dans des quartiers défavorisés comme Montréal-Nord et Saint-Michel. L'impact attendu d'un développement du réseau dans les quartiers plus proches du centre serait toutefois plus faible, puisque ces quartiers sont déjà desservis.

### **3.7 Les considérations politiques**

Un mode de transport structurant constitue une vitrine et un investissement d'envergure qui est investi politiquement. En France, Marconis (1997) met en parallèle le parcours politique de certains élus locaux dont le succès repose en grande partie sur des projets de tramway ou de métros. Au-delà des besoins et des services, la marque laissée sur la ville a influencé le choix du projet retenu. Selon Marconis (1997), un choix comme celui du métro léger, techniquement efficace, agile en zone dense et adaptée à plusieurs villes de province, n'a pas percé en raison de sa plus faible visibilité dans le paysage urbain. Le lobby automobiliste a quant à lui poussé la réalisation de métro afin de ne pas impacter la circulation automobile. Les coûts associés à la réalisation des réseaux et les possibilités d'extensions en zones peu denses ont également pesé dans les décisions.

La littérature souligne l'importance du compromis politique dans la définition des infrastructures de transport. Ces choix impactent largement la forme prise par les réseaux. Ce point a déjà été soulevé précédemment dans le choix du tramway par les villes françaises grâce au soutien d'élus locaux voulant laisser leur marque. La production d'infrastructures est ainsi liée au cycle électoral, un tramway pouvant être réalisé en un mandat municipal de 6 ans en France (Passalacqua 2017). Dans le contexte d'un projet plus important, comme le prolongement d'une ligne de métro à Paris, Zembri (2010) souligne qu'il y a plus d'instabilité au cours de la planification en raison de la multiplicité des acteurs en présence et de la durée du projet. À Genève, le changement du réseau de tramway a lui au contraire été porté par des experts, ce qui n'a pas permis de consensus politique entre les élus et les usagers sur le projet (Audikana et al. 2015).

Le cas de la Californie illustre bien les oppositions dans la planification des projets. Los Angeles et San Francisco ont connu dans les années 1990 des fronts anti-métro (Béni-Gbaffou et al. 2007). Ces fronts étaient soutenus par des travailleurs pauvres utilisateurs des bus qui s'opposaient au transport sur rail destiné selon eux à des populations plus aisées au détriment des réseaux de bus. L'impact du financement sur le prix des trajets en bus était contesté. Ces enjeux ethniques et sociaux ont émergé en raison des conditions politiques des transferts fédéraux pour le financement des infrastructures de transport favorisant de gros projets inadaptés à la desserte de l'étalement urbain californien. À San Francisco, les oppositions au rail ont été plus faibles en raison de la géographie métropolitaine incluant des points de passage obligés pour traverser la baie. L'impact des investissements dans les transports publics est inégalement partagé entre les groupes sociaux, ce qui entraîne des compromis politiques. À Los Angeles, un compromis entre équité sociale et enjeu économique et environnemental de la desserte des banlieues a conduit à une recherche de financement originale afin de maintenir l'accès des transports publics pour les plus modestes.

En étudiant le référendum sur une mesure de financement du transport public à Los Angeles, Manville et Levine (2018) ont analysé les arguments qui entraînaient le soutien à la mesure par les électeurs. Le soutien politique des électeurs au transport public est complexe à analyser en raison de la déconnexion entre les usagers et les contribuables finançant le transport. Aux États-Unis, le transport public est très associé aux populations à bas revenus peu contributeurs aux taxes le finançant. Les auteurs concluent que les arguments mettant de l'avant les avantages pour les non-utilisateurs étaient ceux qui impactaient le plus le soutien à la mesure. De même, la réalisation d'un plan de financement conjoint entre infrastructures routières nouvelles et transports collectifs permettait d'obtenir un soutien plus important. Il s'agit pour les populations se déplaçant en automobile de créer une adhésion au projet quand certains d'entre eux n'ont jamais utilisé les transports publics ou ne connaissent pas d'utilisateurs. Cependant, le soutien au transport public est lié au référendum et ne se traduit pas par un engagement à plus long terme pour les transports publics. Il s'agit d'avantage d'une valeur d'option (Laird et al. 2009).

L'analyse avantages-coûts représente un outil pertinent d'aide à la décision, mais plusieurs facteurs importants, dont celui de l'équité, peuvent y échapper. Les décideurs bien éclairés prendront des



décisions qui tiennent compte de tous ces facteurs. Il faut également reconnaître que la décision finale des investissements dans les transports publics demeure une décision politique. Il n'est pas du ressort de l'analyste d'inclure les calculs politiques à ses outils d'analyse d'où l'absence de critère de nature politique dans les études avantages-coûts.

La littérature sur les enjeux politiques ne traite pas spécifiquement des projets de densification ou de prolongement des réseaux de transport en commun structurants, mais elle suggère tout de même des conclusions propres à chacun des types d'expansion. Sachant, comme le fait remarquer Marconis (1997), que la visibilité des projets est un argument important pour les décideurs, on peut en déduire que les projets plus visibles suscitent davantage l'adhésion des élus. À cet égard, les projets de prolongement, qui visent des zones non desservies, ont plus de chance d'être remarqués que l'ajout de services dans des zones déjà desservies. Cela ne fait pas de ces projets de meilleurs projets à l'égard des coûts et des bénéfices économiques pour l'ensemble de la population, mais ils peuvent jouir d'un avantage dans les discussions sur le choix des projets à prioriser.

## **4. Synthèse et conclusion**

Notre revue de littérature a permis de dégager certains éléments de réflexion sur les avantages et les coûts potentiels des projets d'expansion des réseaux de transport en commun structurants. Nous présentons ici la synthèse de ces éléments en lien avec les deux options de développement de réseau soulevés dans la section 2.3, soit le prolongement et la densification des réseaux. Nous concluons ensuite sur la portée et les limites de cet exercice.

### **4.1 Prolonger ou densifier ? Retour sur la question**

Comme nous l'avons spécifié dans l'introduction, la question de recherche sur le prolongement ou la densification des réseaux s'est avérée relativement étroite pour permettre une revue de littérature regroupant des ouvrages spécifiques aux avantages et aux coûts de développement des réseaux de transport en commun structurants. En élargissant le spectre de la recherche, les connaissances mobilisées se sont avérées plus éclatées, ce qui a nécessité une réorganisation des sources consultées autour des thèmes pertinents. Les éléments de bénéfices et de coûts ayant guidé cette réorganisation sont identifiés dans le chapitre 2. Le classement des études consultées selon les contextes affectant ces bénéfices et ces coûts est fait dans le chapitre 3. Pour y voir plus claire, nous proposons ici un exercice de synthèse qui reprend en quelques mots les enjeux pour chacun des thèmes abordés dans le chapitre 3, tout en spécifiant les particularités associées au prolongement et à la densification des réseaux de transport en commun structurants.

D'entrée de jeu, il faut reconnaître qu'il est impossible de conclure que l'une ou l'autre des formes d'expansion d'un réseau de transport en commun structurant peut être supérieure simplement au regard des avantages et des coûts potentiels. Chaque projet est unique et fait face à des opportunités et des contraintes qui lui sont propres. On peut tout de même souligner des éléments de contexte suivant lesquels un projet peut s'avérer plus pertinent.

Prenons d'abord, les projets de prolongement de réseau. Comme nous l'avons décrit dans la section 2.3, on suppose ici que ces projets touchent seulement l'expansion d'une ligne vers la périphérie. Ce développement se fait dans une zone qu'on suppose à basse densité d'emploi et le prolongement de la ligne ne croise aucun autre segment du réseau. Selon ces hypothèses, et au regard des éléments tirées des études empiriques présentées dans le chapitre 3, on peut croire que, dans la plupart des milieux où ils sont déployés, ces projets ont une bonne capacité de convertir des automobilistes en usagers du transport en commun (section 3.2). Cela s'explique par le fait que ces prolongements desservent généralement des zones moins denses où les déplacements initiaux sont assurés le plus souvent par la voiture. Les prolongements permettent aussi d'étendre le bassin de recrutement de main-d'œuvre des centres-villes, ce qui contribue à y renforcer les économies d'agglomération, si des effets structurants sont observés (section 3.3). La plus faible densité du milieu d'insertion permet aussi le recours à des réseaux moins coûteux, s'ils sont développés en surface (section 3.5).

Il existe aussi un potentiel important de densification du développement immobilier autour des stations, pour le développement d'aires TOD (section 3.4). Les prolongements favorisent également un meilleur accès à l'emploi et une plus grande équité d'accès au réseau lorsqu'ils desservent des zones économiquement ou socialement défavorisées (section 3.6). Les projets de prolongement sont également plus visibles. Cela ne génère pas nécessairement un avantage économique pour la société, mais permet de fédérer davantage les appuis de la population et des politiciens autour de ces grands projets (section 3.7).

Dans un contexte où le réseau souffre déjà de congestion, surtout au niveau des stations qui permettent les transferts entre les lignes, tout projet de prolongement aura toutefois pour effet d'aggraver les coûts de la congestion (section 3.1). Les prolongements de réseaux dans les zones à plus faible densité ont également tendance à proposer des lignes plus longues avec des stations plus espacées, ce qui fait grimper le coût par usager du réseau (ou diminuer le nombre d'utilisateurs par kilomètre). La densité d'utilisateurs autour des stations étant plus faible, la plupart des usagers vont utiliser des transports motorisés pour accéder au réseau. Les développements de type TOD peuvent contribuer à améliorer l'accès par transports actifs, mais leur succès reste mitigé dans les zones où les infrastructures routières soutiennent la dépendance à l'automobile (Knowles et al. 2020, Chatman 2013, Kaufmann 2003).

Du côté des développements de réseaux par densification, notre analyse fait aussi ressortir plusieurs avantages. En se basant sur les hypothèses établies dans la section 2.3 sur un projet type de densification, on suppose que cette dernière améliore le maillage par l'ajout d'une ligne circulaire et tangentielle. Ce type de ligne améliore l'efficacité des réseaux et leur résilience en cas de pannes. Il permet également de réduire la congestion du réseau et redistribuant les passagers sur un plus grand nombre d'itinéraires alternatifs, ce qui contribue ultimement à l'amélioration de la qualité du service (section 3.1). La densification des réseaux accroît également davantage les déplacements en transport en commun que les prolongements. Cela s'explique par le fait qu'elle étend le réseau dans des zones où la prédisposition des gens à utiliser le transport en commun est déjà élevée (section 3.2). Cela dit, il est plus probable que cette hausse d'achalandage provienne de l'ajout d'utilisateurs provenant du réseau d'autobus, de piétons ou de cyclistes, ou par la multiplication des déplacements des usagers déjà dans le réseau, plutôt que par la conversion d'automobilistes en usagers du transport en commun (Knowles et al. 2020, Chatman 2013, Kaufmann 2003). La densification des réseaux permet également de stimuler le développement de l'activité économique dans les zones péri-centrales - autour des nœuds (section 3.3). Elle permet également de soutenir un usage plus dense du sol dans la zone centrale, ce qui génère non seulement des opportunités d'accroître les valeurs foncières, mais qui stimule également le potentiel d'économies d'agglomération du centre-ville (sections 3.3 et 3.4).

Au niveau des coûts, l'implantation des réseaux dans les zones centrales des villes est plus coûteuse parce que la valeur du sol exige un coût d'acquisition plus important ou le recours à des constructions en tunnel qui peuvent être de 4 à 6 fois plus dispendieuses que les constructions en

surface (section 3.5). L'amélioration de la qualité des services occasionnée par la réduction des nuisances liées à la congestion aura surtout tendance à être valorisée par les usagers ayant des revenus plus élevés, dont la disposition à payer pour cette amélioration est plus grande (c'est ce qui découle des méthodes d'estimation utilisées par Haywood et al. 2018 et Haywood et Koning cités dans la section 3.1). Dans ce cas, la répartition des bénéfices d'un projet de densification ne contribue pas nécessairement à un accès plus équitable aux services de transport en commun (section 3.6). Il faut également souligner le fait que les projets de densification reçoivent parfois moins de visibilité parce qu'ils servent surtout à l'amélioration du service dans des zones déjà desservies. Cela ne contribue donc pas à susciter les appuis de la population ou de la classe politique à ces grands projets (section 3.7).

## **4.2 En conclusion**

Le réseau de transport en commun structurant de la Ville de Montréal est actuellement soumis à un ensemble de propositions pour son développement (ARTM 2018, Chouinard 2020). Certains visent le prolongement de lignes existantes. D'autres visent à renforcer la densité du réseau. Les ressources pour réaliser tous ces projets étant limitées, des choix doivent être faits. Chaque projet étant unique et faisant face à des opportunités et des contraintes qui lui sont propres, leur priorisation est complexe et sujet à débat. Ce travail présente quelques éléments de réflexion sur les avantages et les coûts potentiels, qu'il s'agisse de projets de prolongement ou de densification du réseau. Bien qu'il soit impossible de conclure que l'une ou l'autre de ces formes d'expansion soit nécessairement plus rentable socialement au regard des avantages et des coûts potentiels, il a été possible, à l'aide de la revue de littérature effectuée ici, de faire ressortir des éléments contextuels permettant de juger de leur pertinence.

Il faut toutefois rappeler que nos conclusions reposent sur un ensemble d'hypothèses sur les contextes dans lesquels s'insèrent ce que l'on a défini comme un projet de prolongement par rapport à ce que l'on a défini comme un projet de densification (section 2.3). Dans la réalité, les projets sont plus complexes. Ainsi l'ajout d'une nouvelle ligne dans un réseau structurant peut se faire à la fois de manière tangentielle, c'est-à-dire pour améliorer le maillage autour du centre, tout en permettant des prolongements vers la périphérie. Il est aussi possible qu'un prolongement du réseau se fasse sur un territoire à haute densité d'usage du sol ou qu'une densification se fasse dans un milieu moins dense. La concordance entre les points de centralité du réseau de transport et la répartition spatiale des activités dans l'espace urbain n'est jamais exacte. Un même projet d'expansion du réseau de transport structurant peut donc présenter à la fois des caractéristiques de prolongement et de densification, telles que nous les avons définies ici. Une analyse de ces projets sur la base de nos critères nécessiterait alors qu'ils soient segmentés afin de mieux comprendre l'impact potentiel de chacun des segments.

Il est aussi important de souligner les limites de l'exercice effectué dans ce rapport. Une analyse avantages-coûts est un outil d'évaluation qui s'applique à l'étude d'un projet spécifique. Chaque

projet entraîne des bénéfices et des coûts qui lui sont propres. Sans avoir d'information sur les projets et les contextes dans lesquels ils s'insèrent, il est impossible de statuer sur les bénéfices ou les coûts potentiels. Pour cette raison, l'interprétation qui est faite de la littérature ici au regard de la densification ou du prolongement des réseaux de transport en commun structurant ne peut pas servir à appuyer l'une ou l'autre de ces formes d'expansion d'un réseau de transport. Pour ce faire, il faudrait spécifier les projets, les contextes et collecter les données appropriées afin de bien cerner les coûts et les bénéfices qui sont spécifiques. Cela déborde toutefois le mandat de cette recherche. Pour le moment les conclusions présentées ici servent surtout à orienter la discussion plus largement sur les avantages et les coûts économiques potentiels de chacune des options. Ce travail documente les éléments importants à inclure dans la réflexion. Il met la table pour d'autres travaux qui pourraient explorer des propositions plus spécifiques.

En terminant, on peut souligner que les choix qui sont faits sur le développement des réseaux de transport structurant reflètent les valeurs et les connaissances actuelles, mais leur impact sera ressenti sur de longues périodes dans l'avenir. Des exercices de prospectives peuvent aider à projeter les besoins de mobilité dans l'avenir, mais la capacité des planificateurs à interpréter ces besoins reste limitée. On peut rappeler à cet égard qu'en France, les prévisions initiales d'achalandage ont largement été dépassées et le tramway qui pouvait sembler un choix raisonnable est devenu insuffisant dans certaines villes qui envisagent maintenant la réalisation d'un métro léger. C'est notamment le cas à Bordeaux (Cheminade 2020). Ainsi, Bertaud (2018, chap. 5) suggère que la planification des transports ne soit pas limitée à l'objectif de transporter les gens de leur domicile actuel à leurs lieux de travail actuel, mais qu'elle vise aussi à leur offrir des options de transport pour se déplacer de leur domicile potentiel vers les emplois potentiels qu'ils souhaiteraient occuper. Cela implique que les moyens mis à la disposition des individus pour favoriser leurs déplacements ne représentent pas un frein à leur mobilité sociale (par les changements d'emploi) ni à leur mobilité résidentielle.

## Bibliographie

- ADEC (2018). *Coûts socioéconomiques de la congestion routière à Ville de Laval et dans la Couronne Nord*, pour la Ville de Laval.
- Adler, M. W., et van Ommeren, J. N. 2016. Does public transit reduce car travel externalities? Quasi-natural experiments' evidence from transit strikes. *Journal of Urban Economics*, 92 : 106-119.
- Aldous, D. et Barthelemy, M. 2019. Optimal geometry of transportation networks. *Physical Review E*, 99(5) : 052303.
- Anderson, M. L. 2014. Subways, Strikes, and Slowdowns: The Impacts of Public Transit on Traffic Congestion. *American Economic Review*, 104(9) : 2763-2796.
- Angel, S., et Blei, A. M. 2016. The productivity of American cities: How densification, relocation, and greater mobility sustain the productive advantage of larger US metropolitan labor markets. *Cities*, 51 : 36-51.
- Audikana, A., Kaufmann, V. et Messer, M. C. 2015. Governing the Geneva Tram Network: Making Decisions without Making Choices. *Journal of Urban Technology*, 22(4) : 103-24.
- Autorité régionale de transport métropolitain – ARTM. 2018. *Plan des initiatives de développement du transport collectif 2018-2021*.
- Bacqué, M.-H., et Fol, S. 2007. L'inégalité face à la mobilité : du constat à l'injonction. *Revue suisse de sociologie*, 33(1) : 89-104.
- Banister, D. 2008. The Sustainable Mobility Paradigm. *Transport Policy*, 15 : 73-80.
- Banister, D., et Thurstain-Goodwin, M. 2011. Quantification of the non-transport benefits resulting from rail investment. *Journal of Transport Geography*, 19(2) : 212-223.
- Barnes, G. 2005. The Importance of Trip Destination in Determining Transit Share. *Journal of Public Transportation*, 8(2) : 1-15.
- Basso, L. J. et Jara-Díaz, S. R. 2010. The case for subsidisation of urban public transport and the Mohring effect. *Journal of Transport Economics and Policy*, 44(3) : 365-372.
- Beauguitte, L. 2016. L'analyse de réseaux en sciences sociales et en histoire : Vocabulaire, principes et limites. Dans Letricot, R. *Le réseau. Usages d'une notion polysémique en sciences humaines et sociales*. Presses Universitaires de Louvain, 9-24.
- Bénit-Gbaffou, C., Fol, S. et Pflieger, G. 2007. Le front anti-méto en Californie. Controverses autour des politiques de transport en commun. *LEspace géographique*, 36(2) : 115-30.
- Bertaud, A. 2018. *Order without Design*. The MIT Press.
- Bertaud, A. et Richardson, H. W. 2004. Transit and Density: Atlanta, the United States and Western Europe. Dans Bae, C. H. C. *Urban sprawl in western Europe and the United States*. Routledge, 293-310.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., et Weimer, D. L. 2011. *Cost-benefit analysis: concepts and practice*. 4<sup>th</sup> Edition, Prentice Hall.
- Button, K. 2010. *Transport Economics*, 3e édition. Edward Elgar.

- Calvo, F., de Oña J., et Arán, F. 2013. Impact of the Madrid subway on population settlement and land use. *Land Use Policy*, 31 : 627-39.
- Cao, M. et Hickman, R. 2019. Urban transport and social inequities in neighbourhoods near underground stations in Greater London. *Transportation Planning and Technology*, 42(5) : 419-441.
- Cats, O. 2017. Topological evolution of a metropolitan rail transport network: The case of Stockholm. *Journal of Transport Geography*, 62 : 172-183.
- Cats, O., Vermeulen, A., Warnier, M., et van Lint, H. 2020. Modelling growth principles of metropolitan public transport networks. *Journal of Transport Geography*, 82 : 102567.
- Cervero, R. 1998. *The transit metropolis: a global inquiry*. Island press.
- Chatman, D. G. 2013. Does TOD Need the T? *Journal of the American Planning Association*, 79(1) : 17-31.
- Cheminade, P. (2020). Métro à Bordeaux : ce que dit l'étude exploratoire, *La Tribune*, 17 janvier 2020.
- Chouinard, T. 2020. Vers une phase 2 du REM dans l'est. *La Presse*, 28 août 2020.
- Communauté métropolitaine de Montréal – CMM. 2018. Suivi du PMAD 2012-2018. *Cahiers Métropolitains*, 7.
- Coogan, M., Spitz, G., Adler, T., McGuckin, N., Kuzmyak, R., et Karash, K. 2018. *Understanding Changes in Demographics, Preferences, and Markets for Public Transportation*. TCRP research report #201, Transportation Research Board, The National Academies Press.
- Courel, J., et Deguitre L. 2020. *Les déterminants du choix modal : synthèse des connaissances scientifiques*. Paris : Institut Paris Région (IAU).
- Derrible, S. et Kennedy, C. 2009. Network Analysis of World Subway Systems Using Updated Graph Theory. *Transportation Research Record*, 2112(1) : 17-25.
- Dupuy, G. 1993. Les stations nodales du métro de Paris : le réseau métropolitain et la revanche de l'histoire. *Annales de Géographie*, 102(569) : 17-31.
- Dupuy, X. 2016. Les enjeux liés au maillage des réseaux tramway. *Transports urbains*, 129(2) : 21-25.
- Eftekhari, J. 2018. *The Effects of Urban Rail Rapid Transit Station Types on Housing Prices in Toronto and Vancouver, Canada*. Mémoire de maîtrise, Concordia University.
- El-Geneidy, A., Grimsrud, M., Wasfi, R., Tétreault, P. et Surprenant-Legault, J. 2014. New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas. *Transportation*, 41(1) : 193-210.
- El-Geneidy, A., Levinson, D. Diab, E., Boisjoly, G. Verbich, D. et Loong, C. 2016. The cost of equity: Assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91: 302-16.
- Ehouman, K. E. 2007. Le prolongement du métro de la ligne 2 à Laval : un projet économiquement rentable ? Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.
- Faghih-Imani, A., Hampshire, R. Marla, L. et Eluru N. 2017. An empirical analysis of bike-sharing usage and rebalancing: Evidence from Barcelona and Seville. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97 : 177-91.

- Filion, P., McSpurren, K. et Appleby, B. 2006. Wasted Density? The Impact of Toronto's Residential-Density-Distribution Policies on Public-Transit Use and Walking. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 38(7) : 1367-92.
- Fleurian, F. 2016. L'intérêt des réseaux maillés de tramways à travers le cas allemand. *Transports urbains*, 129(2) : 3-9.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., et van Wee, B. 2008. Comparison of capital costs per route-kilometre in urban rail. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 8(1) : 17-30
- Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. K., et Buhl, S. L. 2003. How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? *Transport reviews*, 23(1) : 71-88.
- Foth, N., Manaugh K. et El-Geneidy, A. M. 2013. Towards equitable transit: examining transit accessibility and social need in Toronto, Canada, 1996–2006. *Journal of Transport Geography*, 29 : 1-10.
- Fox, H. 2000. *World Bank urban transport strategy review—Mass rapid transit in developing countries*. Final Report, World Bank, Washington, DC.
- Garrett, M., et Taylor, B. 1999. Reconsidering social equity in public transit. *Berkeley Planning Journal*, 13(1).
- Gonzalez-Navarro, M., et Turner, M. A. 2018. *Subways and Urban Growth: Evidence from Earth*. Working Paper 24996. National Bureau of Economic Research.
- Gouvernement du Québec. 2018a. *Politique de mobilité durable – 2030*. Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports.
- Gouvernement du Québec. 2018b. *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990*. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale de la réglementation carbone et des données d'émission.
- Gouvernement du Québec. 2016. *Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport routier. Partie I Méthodologie*. Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports.
- Gwee, E., Currie, G., et Stanley, J. 2011. *Exploring international variation in cost-benefit analysis guidelines for urban rail project evaluation: Impact on project outcomes*. Transportation Research Board Annual Meeting 2011, Transportation Research Board.
- Haywood, L., et Koning, M. 2015. The distribution of crowding costs in public transport: New evidence from Paris. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77 : 182-201.
- Haywood, L., Koning, M. et Prud'homme, R. 2018. The economic cost of subway congestion: Estimates from Paris. *Economics of Transportation*, 14 : 1-8.
- Héran, F. 2011. *La ville morcelée : effets de coupure en milieu urbain*. Paris : Economica.
- Higgins, C. D. et Kanaroglou, P. S. 2016. Forty years of modelling rapid transit's land value uplift in North America: moving beyond the tip of the iceberg. *Transport Reviews*, 36(5) : 610-34.
- Ingvardson, J. B. et Nielsen, O. A. 2018. How urban density, network topology and socio-economy influence public transport ridership: Empirical evidence from 48 European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 72 : 50-63.



- Kaufmann, V. 2003. Pratiques modales des déplacements de personnes en milieu urbain : des rationalités d'usage à la cohérence de l'action publique. *Revue d'économie régionale et urbaine*, 2003(1) : 39-58.
- King, D. 2011. Developing densely: Estimating the effect of subway growth on New York City land uses. *Journal of Transport and Land Use*, 4(2) : 19-32.
- Knowles, R. D., Ferbrache, F. et Nikitas, A. 2020. Transport's historical, contemporary and future role in shaping urban development: Re-evaluating transit oriented development. *Cities*, 99 : 102607.
- Laird, J., Geurs, K., et Nash, C. 2009. Option and non-use values and rail project appraisal. *Transport Policy*, 16(4) : 173-182.
- Lee, C.-M., Ryu K.-M., Choi, K. et Kim, J. Y. 2018. The dynamic effects of subway network expansion on housing rental prices using a repeat sales model. *International Journal of Urban Sciences*, 22 (4) : 529-45.
- Lee, J., et Sohn, K. 2014. Identifying the Impact on Land Prices of Replacing At-grade or Elevated Railways with Underground Subways in the Seoul Metropolitan Area. *Urban Studies*, 51(1) : 44-62.
- Legaspi, J., Hensher, D. et Wang, B. 2015. Estimating the wider economic benefits of transport investments: The case of the Sydney North West Rail Link project. *Case Studies on Transport Policy*, 3(2) : 182-95.
- Le Tourneur, M. 2016. La constitution des réseaux maillés de tramway de Grenoble, Strasbourg et Montpellier : un témoignage d'acteur. *Transports urbains*, 129 (2) : 10-20.
- Li, X., et Preston, J. 2015. Reassessing the financial and social costs of public transport. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, 168(4) : 356-369.
- Litman, T. 2020. *Evaluating Public Transit Benefits and Costs: Best Practices Guidebook*. Updated June 5 2020, Victoria Transport Policy Institute.
- Manaugh, K., Badami, M. G. et El-Geneidy, A. M. 2015. Integrating social equity into urban transportation planning: A critical evaluation of equity objectives and measures in transportation plans in North America. *Transport Policy*, 37 : 167-76.
- Manville, M. et Levine, A. S. 2018. What motivates public support for public transit? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118 : 567-80.
- Marconis, R. 1997. Métros, V.A.L., Tramways... La réorganisation des transports collectifs dans les grandes agglomérations de province en France. *Annales de Géographie*, 106(593/594) : 129-54.
- Meloche, J.-P. 2019. *La tarification routière au Québec - Quelles leçons tirer de l'expérience des précurseurs ?* Cahier scientifique 2019s-36, CIRANO.
- Meloche J.-P., Tanguay, G. A., Lachapelle, U. et Boulenger, S. 2019. *Lier les programmes d'Aide gouvernementale au transport en commun à la performance des réseaux : quel modèle pour le Québec ?* Rapport de projet 2019rp-06, CIRANO.
- Mohring, H. 1972. Optimization and Scale Economies in Urban Bus Transportation. *American Economic Review*, 62(4) : 591-604.

- Mokhtarian, P. L., Salomon, I., et Redmond, L. S. 2001. Understanding the demand for travel: It's not purely 'derived'. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 14(4) : 355-380.
- Musso, A. et Vuchic, V. R. 1988. *Characteristics of metro networks and methodology for their evaluation*. National Research Council, Transportation Research Board.
- Nelson, P., Baglino, A., Harrington, W., Safirova, E. et Lipman, A. 2007. Transit in Washington, DC: Current benefits and optimal level of provision. *Journal of urban Economics*, 62(2) : 231-251
- Nguyen, P. Q. D., Currie, G., De Gruyter, C. et Young, W. 2017. Net Impacts of Streetcar Operations on Traffic Congestion in Melbourne, Australia. *Transportation Research Record*, 2648(1) : 1-9.
- Normandin, P.-A. 2018. Montréal a besoin d'une nouvelle ligne de métro. *La Presse+*, 23 novembre 2018.
- Offner, J.-M. 1993. Les « effets structurants » du transport : mythe politique, mystification scientifique. *L'espace géographique*, 22(3) : 233-42.
- Offner, J.-M. 2014. Les « effets structurants » du transport: vingt ans après. *L'espace géographique*, 43(1) : 52-54.
- Pang, J. 2017. *Do subways improve labor market outcomes for low-skilled workers?* Working Paper. Syracuse (NY) : Syracuse University.
- Passalacqua, A. 2017. De quoi parle-t-on lorsque l'on parle de tramway en France ? *Cahiers géographiques de l'Ouest*, 12-13 : 5-19.
- Paulhiac-Scherrer, F., Meloche, J.-P. et Morency, C. 2015. *Pour une connaissance et une gestion renouvelées du stationnement : Propositions théoriques et méthodologiques*, Rapport présenté au Conseil de l'environnement de Montréal et à la direction de la santé publique du CIUSSS Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal.
- Proost, S. et Van Dender, K. 2008. Optimal urban transport pricing in the presence of congestion, economies of density and costly public funds. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(9) : 1220-1230.
- Roth, C., Kang, S. M., Batty, M. et Barthelemy, M. 2012. A long-time limit for world subway networks. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(75) : 2540-2550.
- Saidi, S., Wirasinghe, S. C., et Kattan, L. 2016. Long-term planning for ring-radial urban rail transit networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 86 : 128-146.
- Sartori, D., Catalano, G., Genco, M., Pancotti, C., Sirtori, E., Vignetti, S., et Bo, C. (2015). *Guide to cost-benefit analysis of investment projects. Economic appraisal tool for cohesion policy 2014-2020*. Directorate-General for Regional and Urban policy, European Commission.
- Shi, X., Li, Z. et Xia, E. 2020. The impact of ride-hailing and shared bikes on public transit: Moderating effect of the legitimacy. *Research in Transportation Economics*, 100870.
- Shoup, D. 2005. *The high cost of free parking*. Chicago: American Planning Association.
- Small, K. A. et Verhoef, E. T. (2007). *The economics of urban transportation*. Routledge.

- Song, Z., Cao, M., Han, T. et Hickman, R. 2019. Public transport accessibility and housing value uplift: Evidence from the Docklands light railway in London. *Case Studies on Transport Policy*, 7(3) : 607-616.
- St-Louis, E., Manaugh, K., van Lierop, D. et El-Geneidy A. 2014. The happy commuter: A comparison of commuter satisfaction across modes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 26 : 160-70.
- Stoker, P., Petheram, S. et Ewing, R. 2015. Urban structure and travel. In. *Handbook on transport and development*. Edward Elgar Publishing : 19-35.
- Sun, B., Ermagun, A, et Dan, B. 2017. Built environmental impacts on commuting mode choice and distance: Evidence from Shanghai. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52 : 441-53.
- Tirachini, A., Hensher, D. A., et Jara-Díaz, S. R. 2010. Comparing operator and users costs of light rail, heavy rail and bus rapid transit over a radial public transport network. *Research in transportation economics*, 29(1) : 231-242.
- Tirachini, A., Hensher, D. A., et Rose, J. M. 2014. Multimodal pricing and optimal design of urban public transport: The interplay between traffic congestion and bus crowding. *Transportation Research Part B: Methodological*, 61 : 33-54.
- Trojanek, R., et Gluszak M. 2018. Spatial and time effect of subway on property prices. *Journal of Housing and the Built Environment*, 33(2) : 359-84.
- Vickerman, R. 2008. Provision of public transport under conflicting regulatory regimes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(9) : 1176-1182.
- Vuchic, V. R. 2007. *Urban transit systems and technology*. John Wiley & Sons.
- Wang, Z., Ma, W., et Chan, A. 2020. Exploring the Relationships between the Topological Characteristics of Subway Networks and Service Disruption Impact. *Sustainability*, 12(10) : 3960.
- Walker, J. 2012. *Human transit: How clearer thinking about public transit can enrich our communities and our lives*. Island Press.
- Weisbrod, G., Stein, N., Duncan, C., et Blair, A. 2017. *Practices for Evaluating the Economic Impacts and Benefits of Transit: A Synthesis of Transit Practice*. TCRP Synthesis 128, Transportation Research Board, The National Academies Press.
- Winston, C. et Maheshri, V. 2007. On the social desirability of urban rail transit systems. *Journal of Urban Economics*, 62 (2) : 362-82.
- Wolmar, C. 2012. *The subterranean railway: how the London Underground was built and how it changed the city forever*. London : Atlantic Books.
- Yang, J., Chen, S., Qin, P., Lu, F., et Liu, A. A. 2018. The effect of subway expansions on vehicle congestion: Evidence from Beijing. *Journal of Environmental Economics and Management*, 88 : 114-33.
- Zahavi, Y. et Ryan, J. M. 1978. Stability of Travel Components over Time. *Transportation Research Record*, 750 : 19-26.

- Zembri, G. 2010. Infrastructures de transport hybrides : quelques enseignements pour la planification. Le cas de la ligne de métro automatique Météor à Paris. *Belgeo. Revue belge de géographie*, 1-2 : 197-210.
- Zhang, C., Xia, H. et Song, Y. 2017. Rail Transportation Lead Urban Form Change: A Case Study of Beijing. *Urban Rail Transit*, 3(1) : 15-22.
- Zhang, H. 2020. Metro and urban growth: Evidence from China. *Journal of Transport Geography*, 85 : 102732.
- Zhang, L. et Chiaradia, A. 2018. How to design the metro network for maximal accessibility potential? A comparative analysis of Shanghai. Dans *24th ISUF International Conference. Book of Papers*. Editorial Universitat Politècnica de València, 1223-1231.