



HAL
open science

Essais sur la congestion dans les transports à Paris

Martin Koning

► **To cite this version:**

Martin Koning. Essais sur la congestion dans les transports à Paris. Economies et finances. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2011. Français. NNT: . tel-00717656

HAL Id: tel-00717656

<https://theses.hal.science/tel-00717656>

Submitted on 13 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE PARIS I - PANTHÉON SORBONNE

DROIT ECONOMIE GESTION

ESSAIS SUR LA CONGESTION
DANS LES TRANSPORTS À PARIS

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN SCIENCES ÉCONOMIQUES

soutenue par

MARTIN KONING

le jeudi 15 décembre 2011

Numéro d'Identification de la Thèse : 2011PA010055

Directeur de thèse

PIERRE KOPP

(Université de Paris I - Panthéon Sorbonne)

Rapporteurs

STEF PROOST

(Université Catholique de Louvain)

JEAN-PIERRE ORFEUIL

(Université de Paris Est – Créteil Val de Marne)

Suffragants

KATHELINE SCHUBERT

(Université de Paris I - Panthéon Sorbonne)

YVES CROZET

(Université de Lyon II – Lumière)

*L'Université Paris 1 n'entend donner aucune approbation ni
improbation aux opinions émises dans les thèses ;
ces opinions doivent être considérées comme propres à leur
auteur.*

Remerciements

Tout au long de cette thèse, il sera beaucoup question du temps, "ressource la plus rare" perdue dans les embouteillages ou dont la "consommation" est plus pénible dans les métros encombrés. Force est de constater que le temps occupe également une place centrale dans ces remerciements. La rédaction d'une thèse est ainsi un processus chronophage. Cet exercice aurait été impossible si de nombreuses personnes ne m'avaient fait part de leur temps, ou ne m'avaient aidé à rendre plus agréables les périodes de doutes qui ont parfois accompagné l'avancement de ce travail.

Mes premiers remerciements s'adressent tout naturellement à mon directeur de thèse, Pierre Kopp. Depuis plus de cinq ans maintenant, ses précieux conseils, qu'ils soient d'ordre académique ou humain, n'ont cessé de m'accompagner. Il a par ailleurs eu le grand mérite de composer avec mes nombreux défauts, et même de participer à en atténuer certains. Sa présence, constante et sincère, dépasse le strict cadre professionnel. Pour tout cela, je lui suis infiniment reconnaissant. Que cette relation intellectuelle et amicale puisse longtemps perdurer.

La seconde personne que je souhaite remercier de tout coeur est Rémy Prud'homme. S'il ne figure pas officiellement au rang de (co)directeur de thèse, il est certain qu'une grande part de ce travail n'aurait pu voir le jour sans son aide. Outre le fait qu'il m'ait

souvent ouvert la porte de son domicile pour y travailler, il m'a ouvert la porte de son univers intellectuel. Ses nombreuses et pertinentes remarques ont été, et continueront d'être, une source intense de réflexion.

Parce que lire et commenter une thèse demande du temps et des efforts, je remercie sincèrement Katheline Schubert, Stef Proost, Jean-Pierre Orfeuil et Yves Crozet pour avoir accepté de participer à la soutenance. Leur présence dans mon jury ainsi que leurs commentaires sur ce travail de thèse sont à la fois un réel plaisir et un grand honneur.

Certains écrits de cette thèse sont le fruit d'une collaboration. Outre Pierre Kopp et Rémy Prud'homme, j'ai ainsi eu le plaisir de travailler avec Luke Haywood que je remercie grandement. De notre rencontre strasbourgeoise est sans nul doute née une amitié qu'il me tarde de prolonger aux travers des travaux de recherche (en cours et à venir), sur les terrains de basket ou lors des cocktails des conférences. Je remercie également Mélanie Babès, Luc Lenormand, Anne Fehr, Edouard Bellané et Jérémy Boccanfuso pour tout le travail accompli ensemble. Une grande partie de cette thèse repose sur des données issues d'enquêtes de terrain fastidieuses à récolter et à traiter. Ils m'ont à cet égard énormément aidé. Je profite de ces lignes pour remercier le personnel de la Division de la Voirie et des Déplacements de la Ville de Paris et de la RATP, avec une mention particulière pour MM. Prochasson et Loknar qui m'ont permis d'accéder aux données de leurs institutions respectives.

Les chapitres de cette thèse ont fait l'objet de présentations lors de multiples conférences ou séminaires. Je souhaite donc remercier les participants ayant écouté, discuté et conseillé ces travaux. Pour avoir rapporté dessus, ma reconnaissance s'adresse plus particulièrement à Patricia Vornetti, Miguel Amaral, Fabien Leurent, Annes Yvrande-Billon, Guillaume Faburel, Maya Bacache ou Henrik Andersson. Je remercie également les rapporteurs anonymes de *Transport Policy* et de *Urban Studies* pour leurs précieux commentaires.

Remerciements

Comme nous le défendrons plus loin, le contexte dans lequel est "consommé" le temps importe grandement pour les voyageurs. Je ne peux que parler en connaissance de causes et remercier les nombreuses personnes dont j'ai quotidiennement croisé la route, dans le monde universitaire ou en dehors.

Qu'ils soient voisins de bureau ou d'étage, qu'ils appartiennent au Centre d'Economie de la Sorbonne ou à d'autres institutions, qu'ils soient chercheurs ou membre du personnel administratif, un grand merci à François Facchini, Sophie Massin, Claire Naiditch, Mickael Melki, Nicolas Costes, Aleksandra Domanski, Marie-Joelle Kodjovi, Carine Staropoli, Claude Ménard, Eshien Shong, Milena Gradeva, Julie de Brux, Caroline Mariaud, Aude Le Lannier, Eric Dubois, Jean-Luc Outin, Jean-Bernard Chatelain, Annie Guarnero, Héloïse Pichot, Marie-Estelle Binet, Sophie Divay, Murielle Tabariès, Joelle Cicchini, Nadine Hengel, Elda André, Loïc Sorel, Stéphane Brice, Jérôme Josien, Mafini Dosso, Jean-Steph, Laurie Breban, Philippe Poinso, Matthieu Coutonnier, Michela Limardi, Francesco Pappada, Loriane Py, Clémence Berson, Dominique Guégan, Laurent Davezies, Stéphane Saussier, Christophe Ramaux, Gaëlle Ferrand, Renaud Foucart, Carl Hamilton, Federico Antoniazzi, Elvire Guillaud, Mickael Zemmour, Fabrice Colomb, Guillaume Hollard.

J'aurais par ailleurs eu les plus grandes peines du monde à finir cette thèse sans le soutien inébranlable de mes amis. Qu'ils soient économistes, Normands, Parisiens, ils ont toujours répondu présents lorsqu'il s'agissait d'aller interroger des gens dans les transports publics, d'écouter mes débordements professionnels, de se changer les idées... Des énormes remerciements donc à Jeannot, Wams, Prag, Vinz, Pidu, Diegi, Tobal, Jules, Ju, Jo, Cès (merci pour les cartes visuelles), Su et Kati, Mitch, Catherine et Uzi, Mathilde, Charlotte, Nico, Emile, Clémentine, Julia, Ju et Mel, Laure, Lucile, Loren, Soph et Babara, Kevin (les deux), Duc et Sarah, LnK, Mout, Babar, Basar, et Georges, Xavier, Marie et Léon, David, Fiona, Tuteur et Anouk, Anne-Laure, Dimi et Natalia, Markus et Morena, JC et Trésor, la bande de la Cantine ou du Zorba. Ces lignes ne suffisent pas pour les remercier.

Cette longue liste ne pourrait être complète sans Cindy. Depuis un an maintenant, elle a réussi à embellir mon quotidien et à me faire entrevoir d'autres horizons que ce manuscrit de thèse. Je ne saurai donc comment la remercier d'avoir été, et d'être, à mes côtés.

Mes derniers remerciements s'adressent naturellement à ma famille, proche ou lointaine. Mes pensées vont plus particulièrement à parents, à mes soeurs et mes grands-parents. Sans leur confiance et leur réconfort, cette thèse n'aurait vraisemblablement pas pu voir le jour. Elle leur est dédiée.

Résumé

Si la proximité spatiale qu'autorisent les villes est à l'origine de nombreuses externalités désirées par les agents économiques, la concentration territoriale présente également d'importantes contre-parties négatives. Indispensables à leur fonctionnement, les transports des hommes et des marchandises contribuent ainsi pour une grande part du coût social des villes. Lorsque le "coût généralisé" de la mobilité (temps et argent) ne couvre pas l'intégralité du coût social, les individus demandent "trop" de transport. Ils oublient alors les "interactions hors-marché" que génèrent leurs déplacements, celles-ci détruisant du bien-être par rapport à la situation optimale, i.e. telle que les agents "internalisent" le coût externe de leurs décisions.

L'externalité de congestion constitue vraisemblablement est une des plus importantes "défaillances de marché" liées aux transports urbains. Il s'agit d'un phénomène physique. Lorsqu'une infrastructure fait face à une demande trop forte, la qualité du service qu'elle propose se dégrade : le temps de déplacement, objectif ou tel que perçu par les voyageurs, augmente. Cette moindre qualité du service ne se répercute pas uniquement sur le dernier utilisateur de l'infrastructure mais sur la totalité des usagers présents. Dans la mesure où la qualité du service offert par une infrastructure est inversement reliée au "coût généralisé" de son utilisation, l'externalité de congestion réduit l'utilité d'un grand nombre d'individus. Ce renchérissement de la mobilité

peut, à terme, modifier la structure et la "sur-productivité" de l'agglomération en forçant les agents à revoir leurs choix de localisation. Des politiques publiques doivent donc être mises en oeuvre afin d'inciter les voyageurs à intégrer les conséquences de leurs décisions sur le bien-être collectif.

Deux principales questions motivent ce travail de thèse sur la congestion dans les transports à Paris. Deux questions suivantes en découlent, elles-mêmes liées aux spécificités et à la temporalité de notre objet d'étude.

Malgré le statut de "mal urbain" conféré à la congestion routière, il est tout d'abord frappant de constater que les économistes n'arrivent pas à s'accorder sur le coût qu'inflige cette externalité à la société. Les monétarisations des pertes de temps déduites sur les routes oscillent ainsi entre 0,1% et 2% du PIB des pays développés. Une part de cette diversité provient de l'intérêt qu'a suscité la congestion comme objet de recherche, son analyse évoluant au gré des avancées méthodologiques des sciences économiques. Une autre part de cette diversité s'explique toutefois par des définitions différentes du phénomène, au sein du même cadre d'analyse. Concernant l'approche "statique" de la congestion, i.e. retenant un cadre d'"équilibre partiel", on dénombre trois visions concurrentes pour calculer les pertes de temps générées par les véhicules en "trop" sur les routes. Quel est dans ces conditions le coût "économique" de l'externalité de congestion routière ?

Il est ensuite notable que l'étude des pertes de bien-être liées à la sur-utilisation des transports publics reste largement négligée par les sciences économiques. Avant même que les réseaux n'atteignent leurs contraintes de capacité, phénomène engendrant des pertes de temps objectif, il semble pourtant que les voyageurs voient augmenter la pénibilité de leurs déplacements. C'est notamment vrai du confort, i.e. l'espace par voyageur disponible dans un train. Au-delà d'un certain niveau de fréquentation, il devient impossible de s'asseoir dans les véhicules, les usagers sont parfois obligés de se serrer contre leurs voisins. Alors même que le temps objectif est invariant, le temps de voyage est perçu comme plus coûteux par les individus. Parceque

le déplacement est plus inconfortable, il génère une plus grande désutilité. Quelle est donc la valorisation d'une telle externalité de congestion dans les transports publics ferrés ?

Les deux questions précédentes ne sont pas circonscrites à l'économie des transports et s'inscrivent pleinement dans le champ de l'économie publique. Avoir une idée cohérente des ressources détruites sur les routes permet de mieux cibler les enjeux liés à l'"internalisation" de l'externalité de congestion. Si les réseaux ferrés doivent accueillir les automobilistes délaissant leurs véhicules dans les centre-villes, ils ne peuvent par ailleurs recevoir un report modal trop important au risque d'augmenter le "coût généralisé" des déplacements de nombreuses personnes. Le calcul économique, dont l'analyse coûts-bénéfices est une bonne illustration, occupe une place centrale dans le processus de choix collectif lié aux infrastructures de transport en France. Ses résultats sont toutefois sensibles aux hypothèses et aux valeurs tutélaires retenues pour quantifier les changements (temps, argent, environnement) induits par une nouvelle infrastructure. Il semble donc légitime de regarder comment une vision partielle de l'externalité de congestion, sur les routes ou dans les réseaux ferrés, modifie-t-elle l'évaluation économique des politiques publiques ?

La dernière question qui anime ce travail de thèse concerne l'évolution, depuis le début des années 2000, de la congestion dans les transports à Paris. La dégradation du service offert par les infrastructures de transport est un phénomène inscrit dans le temps et dans l'espace. Notre aire d'étude apparaît à cet égard intéressante. Située au coeur d'une des agglomérations les plus productives au monde, la ville de Paris génère mécaniquement une demande de déplacements considérable. Surtout, la politique parisienne des transports a connu un réel tournant depuis 2001. L'action municipale lutte contre les méfaits des automobiles, dont fait partie la congestion routière, notamment en redistribuant la voirie aux modes "propres" (tramway, vélo). Sachant que la zone centrale parisienne connaissait un déclin de son attractivité (pertes de population et d'emplois) durant les dernières décennies du 20ème siècle, notamment par rapport au reste de l'agglomération francilienne, quelle ten-

dance y a suivie la "force centrifuge" que représente l'externalité de congestion ?

Pour répondre à ces questions, ce travail de thèse s'articule autour de trois études de cas. Chaque essai porte ainsi sur une infrastructure de transport de premier ordre pour la zone centrale parisienne : le boulevard Périphérique, la ligne 1 du métro parisien et le tramway des Maréchaux Sud. Croisant données de trafic et données issues d'enquêtes de terrain, les apports de cette thèse sont principalement empiriques. Si nous mobilisons la méthodologie d'évaluation contingente pour étudier les "préférences déclarées" des usagers de la ligne 1, notre approche s'inspire le plus souvent de l'approche "statique" de la congestion. C'est notamment le cas durant l'étude du coût "économique" de la congestion routière sur le boulevard Périphérique et l'analyse coûts-bénéfices du tramway des Maréchaux. Ces trois essais aboutissent aux conclusions suivantes.

Le coût "économique" de la congestion sur le boulevard Périphérique atteignait 130-160 M euros en 2007. Cette monétarisation des pertes de temps est 2,5 fois inférieure à celles obtenues avec les approches concurrentes au sein du cadre d'analyse "statique". L'extrapolation des résultats à l'échelle de la France permet d'estimer à 0,05% du PIB national les pertes de bien-être imputables à l'externalité de congestion routière. S'il constitue une borne inférieure, ce ratio dépend grandement de l'échelle spatiale considérée. Il se chiffre à 0,14% du PIB de l'Ile-de-France ou à 0,18% du revenu régional, indicateur plus à même de représenter le coût d'opportunité pour les voyageurs.

On a également vu que "coût généralisé" des déplacements en métro était significativement relié au niveau de fréquentation dans les trains. Les usagers de la ligne 1 ont ainsi déclaré être prêts à rallonger leurs déplacements d'au moins 5 minutes afin de bénéficier, durant les heures de pointe, du niveau de confort des heures creuses, i.e. une baisse de la densité dans les véhicules de 85% environ. Cette "variation équivalente" de la durée du déplacement permet de chiffrer à 30% la majoration du coût d'opportunité du temps liée à la congestion du métro parisien. L'effet externe de

(dé)congestion des transports publics ferrés est conséquent (0,23 euro/kilomètre).

Améliorer le confort des déplacements génère d'importants gains de bien-être que doivent intégrer les calculs économiques guidant le choix collectif lié aux infrastructures de transport. Dans le cas du tramway des Maréchaux, ces gains de bien-être sont toutefois insuffisants pour compenser la hausse de la congestion routière liée à la mise en "site propre" de l'infrastructure et au probable report viaire sur le boulevard Périphérique. La différence entre la Valeur Actualisée Nette du tramway proposée issue de l'étude ex ante (420 M euros) et celle obtenue ex post (-947 M euros) constitue une illustration parfaite des biais que peut induire une vision partielle de l'externalité de congestion.

Enfin, la congestion a augmenté dans les transports à Paris depuis le début des années 2000. Certains voyageurs ont gagné aux modifications récentes (les usagers du tramway, les cyclistes ou les néo-motards). Ils représentent cependant une fraction minoritaire des kilomètres parcourus dans Paris (5% en 2007). S'il y avait moins de voitures dans les rues de Paris en 2007 par rapport à 2000 (-24%), la politique de "régulation par les quantités" a généré une forte baisse de la vitesse de circulation (-10%). Surtout, la hausse de la fréquentation dans le métro parisien (+13% entre 2002 et 2007) a réduit le confort des déplacements (la densité augmentée de 8%). Le "coût généralisé" a donc augmenté pour la grande majorité des voyageurs. Participant peut-être à l'apparent regain d'attractivité de Paris observé entre 2000 et 2008, la hausse de la congestion dans les transports questionne l'efficacité socio-économique de la politique municipale menée depuis 2001. Les fortes valorisations faites par les économistes des temps de transport vis-à-vis des autres dimensions des déplacements (dont l'environnement) suggèrent que le coût social de la mobilité parisienne a augmenté entre 2000 et 2007.

Mots-clés : Externalité de congestion, transports urbains, "coût généralisé" des déplacements, analyse "statique" de la congestion, analyse coûts-bénéfices, méthode d'évaluation contingente, zone centrale parisienne.

Table des matières

Remerciements	1
Résumé	5
Avant-propos	17
1 Introduction générale	23
1.1 La congestion des infrastructures de transport	23
1.1.1 Définition du phénomène de congestion	24
1.1.2 Intérêts liés à l'étude économique de l'externalité de congestion	25
1.1.3 Congestion et dynamiques territoriales	28
1.2 Questions guidant le travail de thèse	30
1.2.1 Quel est le coût de la congestion routière dans un cadre d'analyse "statique" ?	30
1.2.2 L'externalité de congestion est-elle coûteuse dans les métros ? .	32
1.2.3 Comment une vue partielle de l'externalité de congestion modifie-t-elle l'évaluation économique des politiques publiques ?	34
1.2.4 Quelle est évolution de la congestion dans les transports à Paris depuis le début des années 2000 ?	37
1.3 La zone centrale parisienne comme aire d'étude	37
1.3.1 La zone centrale parisienne dans l'Ile-de-France : évolutions entre 1960 et 2000	39
1.3.2 La politique des transports entreprise depuis le début des années 2000 et les changements de mobilité observés	45
1.3.3 Enjeux actuels liés à la congestion des transports à Paris	49
1.4 Contenu de la thèse	52
1.4.1 Chapitre 2 - La variété des coûts de congestion routière : mise en perspective à partir du boulevard Périphérique parisien	53

1.4.2	Chapitre 3 - Avoir les coudes serrés dans le métro parisien : étude du goût pour le confort des déplacements	54
1.4.3	Chapitre 4 - Le remplacement d'un bus par un tramway à Paris : coûts et bénéfices	56
2	La variété des coûts de congestion routière : mise en perspective à partir du boulevard Périphérique parisien	59
2.1	Introduction	59
2.2	L'analyse "statique" de la congestion routière	64
2.2.1	Formalisation du problème	64
2.2.2	Présentation graphique	66
2.3	Problèmes liés à l'approche "statique" et stratégie adoptée pour y remédier	70
2.3.1	Densité ou flux de véhicules ?	70
2.3.2	Une approche désagrégée de la demande	74
2.4	Le boulevard Périphérique parisien	78
2.4.1	Présentation de l'infrastructure	78
2.4.2	La base de données	79
2.4.3	Statistiques descriptives	80
2.4.4	La relation vitesse-densité	84
2.4.5	Les autres paramètres	85
2.5	Calculs du coût "économique" de la congestion routière sur le boulevard Périphérique	87
2.5.1	La sur-utilisation de l'infrastructure	87
2.5.2	Exemple pour une classe de vitesse particulière	89
2.5.3	Résultats	90
2.5.4	Désagrégation temporelle	94
2.5.5	Désagrégation spatiale	96
2.6	Implications de politiques publiques	99
2.6.1	Récapitulatif et discussion des résultats	99
2.6.2	Coûts marginaux et péages optimaux	101
2.6.3	L'ampleur des coûts de la congestion routière	107
2.7	Conclusion	112
2.8	Annexes	114
2.8.1	Carte du boulevard Périphérique	114
2.8.2	Le découpage géographique du boulevard Périphérique	114
2.8.3	Les gaps entre utilisation effective et optimale du boulevard Périphérique durant les heures de pointe	115
3	Avoir les coudes serrés dans le métro parisien : étude du goût pour le confort des déplacements	117

3.1	Introduction	117
3.2	Un modèle de choix modal intégrant le confort des déplacements . . .	123
3.2.1	Le confort dans la modélisation des choix de transport	123
3.2.2	Le modèle	125
3.2.3	Politiques de report modal et confort dans les transports publics	127
3.3	Évaluation contingente du confort des déplacements en métro	130
3.3.1	La méthodologie d'évaluation contingente	130
3.3.2	Les valorisations du confort présentes dans la littérature	132
3.4	L'enquête dans la ligne 1	135
3.4.1	Descriptions de la ligne 1 et de l'enquête	135
3.4.2	Statistiques descriptives	137
3.4.3	La valorisation du confort des déplacements dans la ligne 1 . . .	140
3.5	Etude empirique	143
3.5.1	Spécification de l'utilité individuelle	143
3.5.2	Variables explicatives	146
3.5.3	Stratégie économétrique	147
3.5.4	Résultats	149
3.5.5	Robustesse, probabilités prédites et congestion subjective . . .	152
3.6	Implications de politiques publiques	156
3.6.1	La valorisation du confort dans le métro parisien	156
3.6.2	L'effet externe d'encombrement dans le métro	157
3.6.3	Bien-être des voyageurs et confort des déplacements dans le métro parisien	160
3.7	Conclusion	162
3.8	Annexes	164
3.8.1	Distributions de certains variables	164
3.8.2	Fully-standardized coefficients" des variables explicatives	165
3.8.3	Probabilités prédites du "consentement à payer pour du confort" et du "sur-déplacement"	166
4	Le remplacement d'un bus par un tramway à Paris : coûts et bénéfices	169
4.1	Introduction	169
4.2	Présentation du tramway des Maréchaux et de son impact sur la structure des déplacements	171
4.2.1	Présentation du projet tramway et de ses composantes	171
4.2.2	Les données	173
4.2.3	Évolutions dans la structure des déplacements	176
4.3	Gains et pertes de bien-être pour les voyageurs de l'axe Ivry-Garigliano	180
4.3.1	Les usagers du tramway	180

4.3.2	Les automobilistes sur les boulevards des Maréchaux	182
4.3.3	L'externalité de congestion sur le boulevard Périphérique	183
4.3.4	Les pertes de temps des véhicules entrant dans (ou sortant de) Paris	185
4.3.5	La décongestion du métro parisien	186
4.4	Les impacts du tramway sur les émissions de CO2	187
4.4.1	La relation émissions de CO2-vitesse	187
4.4.2	Le remplacement des bus	189
4.4.3	Le report modal vers le tramway	189
4.4.4	La baisse de la vitesse sur les boulevards des Maréchaux	189
4.4.5	Le détour vers le boulevard Périphérique	190
4.4.6	La congestion additionnelle sur le boulevard Périphérique	190
4.4.7	La réduction de la mobilité	192
4.5	L'évaluation socio-économique du tramway des Maréchaux	193
4.5.1	Les autres données	193
4.5.2	Valeur Actualisée Nette du projet tramway	194
4.5.3	Discussion	196
4.6	Conclusion	197
4.7	Annexes	200
4.7.1	Statistiques descriptives de l'enquête de terrain	200
4.7.2	Estimations de la réduction de la mobilité et du report viaire	202
4.7.3	Externalités de congestion et environnementale sur le boulevard Périphérique	204
4.7.4	Solde annuel du projet en négligeant l'impact sur les déplacements automobiles	205
5	Conclusion Générale	207
5.1	Réponses aux questions ayant motivé ce travail de thèse	207
5.1.1	Quel est le coût de la congestion routière dans un cadre d'analyse "statique" ?	207
5.1.2	L'externalité de congestion est-elle coûteuse dans les métros ?	208
5.1.3	Comment une vue partielle de l'externalité de congestion modifie-t-elle l'évaluation des politiques publiques ?	209
5.1.4	Quelle est l'évolution de la congestion dans les transports à Paris depuis le début des années 2000 ?	211
5.2	Discussion	213
5.2.1	Évolution de la population et des emplois dans Paris depuis 2000	213
5.2.2	Le signal envoyé par la politique municipale des transports	216
5.2.3	Comment les Parisiens ont-ils réagi au signal ?	217
5.3	Travaux en cours	221
5.3.1	Nouvelle étude sur la valorisation du confort dans le métro	221

Sommaire

5.3.2	Analyse coûts-bénéfices du report modal vers le vélo à Paris . .	223
5.3.3	Quels facteurs influencent l'opinion à l'égard des tramways? . .	224
	References	226
	Liste des Tableaux	245
	Liste des Figures	246

Avant-propos

Les préoccupations intellectuelles qui animent ce travail de thèse, tout comme les résultats auxquels aboutissent les essais qui le composent, s'inscrivent au carrefour de l'économie des transports et de l'économie publique. Leur objet d'étude commun est celui de la congestion dans les transports à Paris. Traiter d'un tel sujet ne peut à l'évidence se comprendre sans les apports d'autres sous-disciplines des sciences économiques telles que l'économie urbaine et l'économie régionale. Dans cet esprit, l'avant-propos suivant peut se voir comme un "détour de production". Il permet de comprendre que la thématique de la congestion s'inscrit dans la perspective plus large du développement urbain.

Les externalités dans les villes

Si des avantages naturels ou des décisions politiques impulsent bien souvent le processus, les externalités occupent une place prépondérante dans la dynamique de concentration territoriale des hommes et des activités économiques (Fujita [1989], Maurel and Puig [2004], Glaeser [2007], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). La proximité spatiale qu'incarne la ville autorise en effet diverses "interactions hors-marché"

bénéfiques pour les utilisateurs de la ville (habitants et firmes)¹. Des mécanismes de "learning, sharing and matching"² (Duranton and Puga [2003]) rendent les agents économiques plus productifs, ce qui permet d'accroître leurs niveaux d'utilité (via les salaires) ou de profits (via les rendements croissants et un marché potentiel grandissant) et renforce en retour l'attractivité des villes. Caractérisés par une relation positive entre densité et "sur-productivité urbaine" (Ciccone and Hall [1996], Prud'homme and Lee [1999], Combes, Duranton, and Gobillon [2004], Rousseau [1998], Glaeser [2008]), les "économies d'agglomération" ne sont toutefois pas infinies. Des "forces centrifuges" entrent ainsi en jeu et concourent à faire émerger une "taille optimale" pour chaque ville, i.e. population ou espace tels que l'écart entre les bénéfices et les coûts sociaux soit maximal (Prud'homme and Lee [1999], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). La concentration spatiale a donc des effets négatifs. Elle peut engendrer une "tyrannie d'autrui". L'insécurité physique (vols, violences) ou sanitaire (maladies, famines) doivent être interprétées comme des externalités freinant la croissance des villes (Bairoch [1985], Thisse [2004], Glaeser [2008]).

Les externalités liées aux transports de la ville

Parmi les activités indissociables de la vie urbaine, les transports des marchandises et des hommes, au sein ou entre les territoires, contribuent grandement au coût social des villes. Que la mobilité à assouvir soit individuelle (se rendre sur un lieu de production) et/ou matérielle (déplacer la production), il est en effet rare que les agents économiques supportent l'intégralité du coût de leurs décisions. Recevant un signal biaisé, ils demandent alors soit "trop" de mobilité lorsqu'elle est sous-tarifée, soit "pas assez" lorsqu'elle est sur-tarifée, par rapport à la situation qui maximiserait le

1. Les externalités liées à la concentration territoriale des individus et des entreprises (les "économies d'agglomération") prennent diverses formes (Huriot and Bourdeau-Lepage [2009], Rousseau [1998], Maurel and Puig [2004]) : elles peuvent notamment être de "localisation" (intra-sectorielles), d'"urbanisation" (inter-sectorielles), "pécuniaires" (monétaires), "d'informations", "sociales" (entre ménages)....

2. On parle de "learning" pour décrire la production et la diffusion de connaissances, de "sharing" pour décrire le partage des gains liés à la variété d'offreurs ou le partage du risque, de "matching" pour le décrire la qualité de l'appariement sur le marché du travail (Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]).

bien-être la collectivité, i.e. l'optimum. C'est par exemple le cas des pollutions environnementales (locales et globales), sonores ou visuelles émises à divers degrés par les modes de transports. On pense évidemment aux véhicules automobiles dont les rejets polluants sont aujourd'hui la source de nombreuses préoccupations liées au réchauffement climatique et dont les incivilités semblent incompatibles avec la "qualité de vie urbaine" (Orfeuil [2008a], de Palma and Zaouali [2007], Perbet [2004], Parry, Harrington, and Walls [2007], VTPI [2009], Quinet [2004])³. Comme le font remarquer Levitt and Dubner [2010], l'utilisation des chevaux comme moyen de locomotion était au centre des débats new-yorkais à l'aube du 20ème siècle. Il y avait alors tant de bêtes "en circulation" que les déjections animales devenaient intolérables pour les habitants. Sous-produits de la mobilité de leurs époques, ces externalités se traduisent par une dégradation des aménités urbaines environnementales. Elles affectent donc l'utilité d'un grand nombre de personnes, à l'échelle de l'agglomération. Face à de telles "défaillances de marché", une intervention publique correctrice doit être mise en oeuvre afin de minimiser les pertes de bien-être imputables aux transports de la ville.

Objet d'étude de cette thèse, la congestion des infrastructures occupe une place particulière au sein des externalités issues de la mobilité. Il s'agit d'un "mal urbain" de premier ordre. En sus de générer un important coût externe, la plus ou moins grande intensité de cette "interaction hors-marché" conditionne l'évolution du coût privé des déplacements.

Coûts de transport et dynamiques territoriales

Les économistes mesurent les coûts de transport au travers du "coût généralisé" des déplacements (Small and Verhoef [2007], Quinet and Vickerman [2004], Bonnafous [2004]). Celui-ci se compose d'une part généralement fixe (les dépenses monétaires

3. Les circulations routières représentaient environ 24% des émissions de CO2 et 20% des émissions de gaz à effet de serre en France au début des années 2000.

liées à l'utilisation d'un mode de transport) et d'une fraction variable (le temps de déplacement)⁴. Les décisions individuelles de mobilité reflètent alors un "arbitrage entre temps et argent" (De Borger and Fosgerau [2008]). Par ailleurs, des modifications de la structure des coûts de transport engendrent de profondes mutations territoriales. Une vaste littérature aborde ce thème (Bairoch [1985], Leroy and Sonstelie [1983], Thisse and Lafourcade [2008], Combes and Lafourcade [2005], Glaeser and Kohlhase [2004], Cavailhès [2004], Anas, Arnott, and Small [1998], Cavailhès [2004], Glaeser and Kahn [2003]), avec deux principaux angles d'analyse.

Dans une optique inter-régionale, la baisse des coûts de transport des biens industriels⁵ correspond à une réduction des coûts de transaction de l'échange marchand. Permettant aux territoires les plus productifs de libérer leurs avantages comparatifs et les autorisant à exporter à moindre frais sur un marché devenu plus large, cette dilatation des contraintes spatiales y draine les entreprises et les segments les plus mobiles de la population active attirés par les "économies d'agglomération". L'introduction des réseaux ferrés et routiers hier ; l'ouverture d'une nouvelle autoroute ou d'une ligne de trains à grande vitesse aujourd'hui. Dans les Etats-Unis des 19ème et 20ème siècles comme dans l'Europe contemporaine, les modèles de l'économie régionale ont démontré que l'évolution des coûts de transports des marchandises était une variable clé pour expliquer le rythme des phases d'urbanisation ou le déclin de certains espaces périphériques (Huriot and Bourdeau-Lepage [2009], Combes, Mayer, and Thisse [2006], Combes and Lafourcade [2005], Thisse and Lafourcade [2008]).

Dans une perspective intra-régionale, les coûts de transport individuels participent aux choix de localisation des ménages (Fujita [1989], Glaeser [2008]). La condition d'"indifférence spatiale"⁶, clé de voûte de l'économie urbaine, postule ainsi que les

4. Dans la littérature anglo-saxonne, ce coût se transforme en "prix généralisé" lorsque sont inclus les péages spécifiques à l'utilisation d'une infrastructure (Small and Verhoef [2007]).

5. Avant la période industrielle, il conviendrait de mentionner l'influence des coûts de transport des biens agricoles. Conjugués à une faible productivité agricole, ils limitaient le nombre de bouches qu'une ville pouvait accueillir. Bairoch [1985] parlait ainsi de "tyrannie de la distance".

6. Telle que les individus soient indifférents entre les différentes localisations au sein d'un espace urbain (le plus souvent monocentrique, avec les emplois concentrés au centre d'un espace représenté par un cercle ou un segment).

ménages se localisent à l'endroit où s'égalisent le coût (décroissant) d'une unité résidentielle éloignée "à la marge" du centre-ville et les dépenses de transport induites (pour se rendre travailler dans un centre-ville plus lointain). Les arrivées successives des tramways ou des automobiles permettent de comprendre le ré-investissement spatial des ressources temporelles économisées auquel se sont adonnés les ménages dans nombre de pays développés (Brueckner [2000], Crozet [2005])⁷. Prenant tour à tour les appellations de "banlieues", de "péri-urbanisation" ou de "rurbanisation", étant plus ou moins différenciés selon la répartition spatiale des aménités positives exogènes (biens publics, beauté des bâtiments historiques, parcs) ou endogènes (capital humain, capital social, voir Brueckner, Thisse, and Zenou [1999]), les changements de structures urbaines induits par la baisse des coûts de transport individuels ont été considérables au cours des siècles derniers (Leroy and Sonstelie [1983], Anas et al. [1998], Brueckner [2000], Cavailhès [2004], Glaeser and Kahn [2003]).

Les modifications territoriales mentionnées ci-dessus s'expliquent par des variations exogènes (de long terme) des coûts de transport : les coûts de la mobilité ont drastiquement chuté suite à l'introduction d'innovations technologiques telles que les bateaux à vapeur, les trains, les tramways ou encore la voiture individuelle. Bien qu'il s'intéresse également à la liaison théorique "Villes et coûts de transport", ce travail de thèse se focalise sur un thème quelque peu différent. Que ce soit dans les transports privés (embouteillages) ou dans les transports publics (wagons bondés), l'externalité de congestion engendre en effet une modification endogène des coûts de transports individuels. Son analyse prend par ailleurs plus de sens dans une perspective intra-régionale. En cela, nous nous inscrivons dans le programme de recherche mis en avant par Glaeser and Kohlhase [2004] : suite à l'incroyable baisse des coûts de transport des biens durant 20^{ème} siècle, les coûts de transport des individus et leurs évolutions doivent être placés au centre de l'analyse économique des dynamiques régionales contemporaines.

7. D'après la "loi de Zahavi", les hommes consacrent, en tous temps et en tous lieux, environ 90 minutes à accomplir leur mobilité quotidienne. En augmentant la vitesse de déplacement, un nouveau mode de transport permet d'aller plus loin, à "budget temps" constant (Crozet [2005], Crozet and Joly [2004]).

Introduction générale

1.1 LA CONGESTION DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Indispensables au fonctionnement de toute agglomération urbaine, les infrastructures de transport (routières ou ferrées) présentent certaines caractéristiques d'un "bien collectif"¹. Lorsqu'aucun péage n'en régule l'accès, elles sont ainsi "non excluables", i.e. ouvertes à toute personne souhaitant les utiliser. Toutefois, les infrastructures de transport s'éloignent par moment de la catégorisation de "bien collectif pur". La condition de "non-rivalité", i.e. telle que l'utilisation de l'infrastructure par un individu n'empêche pas celle d'un autre individu, n'est pas constamment remplie. C'est le cas lorsqu'elles sont congestionnées.

1. Au-delà des enjeux liés à la cohésion territoriale, cette remarque justifie en grande partie le financement et de la gestion publique de nombreuses infrastructures de transport, même si la pratique croissante des contrats de Partenariat Public-Privé a quelque peu modifié la donne depuis une vingtaine d'années (Saint-Etienne and Piron [2006]), non sans engendrer certains problèmes, voir par exemple (Bonafous [2002] ou Athias and Saussier [2007]).

1.1.1 DEFINITION DU PHÉNOMÈNE DE CONGESTION

Nous supposons qu'une infrastructure de transport est congestionnée lorsqu'elle ne peut répondre à la demande qui s'adresse à elle sans dégrader la qualité du service offert. Le phénomène de congestion est physique. Il est déterminé par la rencontre entre les capacités d'accueil (finies) de l'infrastructure et les comportements des utilisateurs. La congestion est donc un phénomène variable dans l'espace, toutes les zones géographiques n'étant pas également attractives et/ou desservies par des infrastructures de transport de capacités équivalentes. Mais également dans le temps. C'est essentiellement lorsque de nombreux individus partagent la même heure d'arrivée à destination que les infrastructures de transport sont le plus congestionnées.

Pour les économistes, le phénomène de congestion s'assimile à une externalité "technologique" (Small and Verhoef [2007], Quinet and Vickerman [2004]). Ses effets néfastes sur l'utilité proviennent de la qualité du service offert par l'infrastructure. Inversement reliée au "coût généralisé" supporté par un utilisateur, la qualité du service dépend du nombre de personnes simultanément présentes sur l'infrastructure.

Comme nous le défendrons dans cette thèse, la qualité du service peut être de différentes natures, selon les modes de transport. L'externalité de congestion étant le plus souvent associée aux véhicules automobiles, nous pouvons utiliser ce mode pour illustrer ses conséquences sur le bien-être individuel et collectif. L'étude de la congestion routière s'est institutionnalisée chez les économistes depuis longtemps (Walters [1961], Vickrey [1969b], Lindsey [2006], Small and Verhoef [2007]). Conjugué à la lutte contre le réchauffement climatique, les agendas politiques (local, national, européen) font par ailleurs du combat contre la congestion routière un objectif prioritaire, notamment dans les zones urbaines (Commission Européenne [2001], OCDE [2003], Commission Européenne [2007], Conseil d'Analyse Stratégique [2008]).

Si la mobilité automobile a engendré une plus grande consommation d'espace rési-

dentiel de la part des ménages (Brueckner [2000], Cavailhès [2004], Glaeser and Kahn [2003]), elle a également créé une coûteuse "dépendance" des populations à l'égard de ce moyen de locomotion (Newman and Kenworthy [1989], Dupuy [2006], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009])². Les capacités limitées des infrastructures routières sont la source d'une importante destruction de bien-être économique, notamment dans les zones proches des centre-villes (où les emplois restent souvent concentrés) et durant les heures des déplacements pendulaires. Ne prenant en compte que le "coût généralisé" de son propre déplacement, un automobiliste empruntant une route augmente la congestion de celle-ci. L'externalité "technologique" n'accroît pas uniquement la durée de son voyage. Réduisant la vitesse de circulation proposée par l'infrastructure, i.e. la qualité de service, l'externalité revient à majorer le "coût généralisé" de tous les voyageurs présents. Coûts privé et social différents, il y a donc des automobilistes "en trop" sur la route. Cette allocation inefficace de la voirie correspond à une destruction de bien-être économique par rapport à l'optimum, i.e. niveau d'utilisation tel que les voyageurs "internalisent" le coût externe de leurs décisions (Small and Verhoef [2007], Quinet and Vickerman [2004], Lindsey [2006], Prud'homme and Sun [2000]).

1.1.2 INTÉRÊTS LIÉS À L'ÉTUDE ÉCONOMIQUE DE L'EXTERNALITÉ DE CONGESTION

L'étude de l'externalité de congestion relève d'un intérêt académique et opérationnel évident. La principale raison tient au fait que la perte d'utilité s'exerce au travers d'une augmentation du temps quotidiennement alloué aux transports. Depuis l'intrusion des sciences économiques dans l'analyse d'une variété de choix individuels, le temps est ainsi vu comme une consommation intermédiaire indispensable à la

2. Le concept de "dépendance automobile" provient de l'observation empirique que la consommation individuelle d'essence (ressource limitée et polluante) augmente de manière inverse avec la densité des aires urbaines. En découle une vision "structuraliste" du phénomène : afin de réduire l'utilisation des automobiles (et la consommation de carburants associée), il importe de rendre la ville plus "compacte" (Newman and Kenworthy [1989]). Pour d'autres (Dupuy [2006]), le concept de "dépendance automobile" est plus lié à l'hégémonie de ce mode de déplacement issue des "économies de réseau". Pour réduire l'intérêt d'utiliser une voiture, il faut alors rendre plus difficile l'accès au "réseau automobile" (exemple : augmenter les frais d'obtention d'un permis de conduire).

réalisation des activités humaines (Becker [1965]). Sa dotation étant limitée, il s'agit de la "ressource la plus rare" (Crozet and Joly [2004]). Le temps "consommé" dans les transports présente donc un coût d'opportunité, fonction de l'utilité que les individus pourraient obtenir en substituant à leur temps de déplacement une autre activité, un temps de travail additionnel par exemple. Ce coût d'opportunité augmente avec la croissance économique et l'enrichissement des populations (Commissariat Général du Plan [2001], Small and Verhoef [2007])³.

En considérant une constante universelle de 1h30 par jour, un individu consacre près de 10% de son temps éveillé à accomplir sa mobilité, 17% si on ne considère que le temps non travaillé⁴. La composante temporelle est par conséquent prépondérante dans le "coût généralisé" des déplacements, et ce même si la composante monétaire occupe une part non négligeable du revenu disponible des ménages (Orfeuil [2000], Orfeuil [2008a])⁵. Parce que "trop de véhicules sur la route" signifie "plus de temps pour plus de monde", un excès d'automobilistes par rapport au niveau optimal d'utilisation des routes est socialement coûteux. Ainsi, les estimations du coût externe de congestion routière dépassent systématiquement celles des autres "maux" infligés par la mobilité automobile (pollutions sonores, environnementales, accidentalité) (Quinet [2004], Parry et al. [2007], de Palma and Zaouali [2007], IWWW-Karlsruhe [2000], Small and Verhoef [2007], VTPI [2009]). Ces derniers "maux" ne sont pas propres à la congestion routière mais au mode de transport automobile. Toutefois, les émissions de polluants augmentent avec une baisse de la vitesse moyenne en milieu urbain, tout comme le bruit des moteurs lors de phases d'accélération-décélération⁶.

3. Une variable clé à l'analyse fine des dynamiques résidentielles réside dans l'élasticité du coût d'opportunité du temps par rapport au revenu. Pour le processus de "péri-urbanisation" déjà discuté, cette élasticité était plus faible, pour les ménages riches, que celle dans la demande de logement par rapport au revenu. S'en est donc suivie une "fuite du centre-ville" de la part des classes aisées, celles-ci souhaitant consommer plus d'espace résidentiel (voir Cavailhès [2004], Cavailhès [2005]).

4. En comptant 8 heures de sommeil et 8 heures travaillées.

5. Le coût monétaire des déplacements représente le second poste d'affectation du revenu des ménages (15%), après le logement (Orfeuil [2008a]).

6. On pourrait également inclure les frais de maintenance des routes qui augmentent avec l'usage de celles-ci et qui sont le plus souvent financés par les deniers publics.

Ces propos expliquent pourquoi la congestion routière est l'externalité à laquelle les économistes et les autorités en charge d'organiser les transports urbains accordent le plus d'importance. Un réseau de transports urbains doit ainsi réussir à connecter divers modes de transport (voitures, trains, métro, bus, vélos...), chacun associé à des coûts privés et externes (temporels, environnementaux, monétaires, physiques) différents. L'objectif des décideurs publics est dans ce cadre de faire tendre les choix individuels vers la répartition modale optimale : les "parts de marché" des différents modes qui minimiseraient le coût social de la mobilité urbaine (Bonnafeuf [2004], Arnott and Yan [2000], Parry and Small [2009], Proost and Dender [2008]). Si la "sous-tarification" de la mobilité automobile diffère grandement selon les pays (Parry and Small [2005], Prud'homme and Kopp [2010a])⁷, l'"internalisation" du coût externe de congestion routière est rarement opérée. Conjugée à sa nature temporelle et à la diffusion sociétale de l'automobile, on comprend donc que la congestion routière représente souvent une grande part de la "correction" à apporter pour se rapprocher de l'optimum (Bonnafeuf [2004], Arnott and Yan [2000], Parry and Small [2009], Proost and Dender [2008]).

Il faut pour cela jouer sur les composantes monétaires et temporelles du "coût généralisé" de la voiture. L'"arbitrage entre temps et argent" porte en effet sur les choix du mode de transport (ou entre les routes, Small and Verhoef [2007], De Borger and Fosgerau [2008]). Si d'autres politiques existent pour remédier à la sur-utilisation des routes (politiques de logement, investissements dans les capacités d'accueil et la qualité des transports publics, subventions des modes concurrents), l'introduction des péages de congestion est l'outil le plus apprécié des économistes (Small and Verhoef [2007], Lindsey [2006], Tsekeris and Voss [2009]). Se rapprochant d'une "internalisation" du coût externe, les politiques de "régulation par les prix", telles qu'introduites à Londres, Singapour, Stockholm (Santos and Bharkarb [2006], Prud'homme and Kopp [2010b], Eliasson [2009]), proposent un arbitrage clair entre les deux dimensions du "coût généralisé" : augmenter le coût monétaire pour réduire le coût

7. Les voitures sont "sur-tarifées" en France par rapport aux coûts privés et externes qu'elle inflige (Prud'homme and Kopp [2010a]).

temporel. Forçant les individus dotés de fortes valeurs de temps à "révéler leurs préférences pour la vitesse", cette intervention peut générer d'importants gains de bien-être, même si inégalement répartis entre les voyageurs (Giuliano [1992], Rothengatter [2003], Armelius and Hultkrantz [2006], Bureau and Glachant [2008]). D'une manière plus générale, tout investissement permettant d'alléger la congestion routière aura de grandes chances d'être jugé favorablement à l'aune des critères proposés par l'évaluation économique des politiques publiques.

1.1.3 CONGESTION ET DYNAMIQUES TERRITORIALES

Ne pas réussir à réguler la congestion routière peut s'avérer problématique à terme. En sus de dégrader la "qualité de vie urbaine", cette externalité peut réduire la productivité d'une agglomération et/ou changer sa structure en modifiant les choix de localisation des individus.

En fixant les lieux de résidence, on peut tout d'abord considérer que la vitesse des déplacements participe à déterminer⁸ la "taille effective du marché du travail", i.e. le nombre d'emplois auxquels peut accéder un résident en moins de X minutes de déplacements (Prud'homme and Lee [1999], Cervero [2001], Wenglenski [2007]). Si elle augmente l'attractivité des modes de transport concurrents, la baisse de la vitesse engendrée par une congestion routière accrue est également associée à des "interactions hors-marché" d'une moindre intensité. La "taille effective du marché du travail" représente en effet l'espace géographique au sein duquel les mécanismes de "learning, sharing and matching" peuvent potentiellement prendre place. Elle est positivement reliée à la "sur-productivité" urbaine. Une intensification de la congestion routière pourrait alors réduire le potentiel productif de l'agglomération considérée dans son ensemble, en restreignant la diffusion des bénéfices liés à la concentration territoriale (Prud'homme and Lee [1999], Cervero [2001], Costes, Kopp, and

8. Avec la taille de la population, le nombre d'emplois et la superficie de la zone urbaine considérée.

Prud'homme [2009]).

Au niveau microéconomique, une augmentation de la congestion routière est tout autant néfaste. Elle réduit ainsi l'utilité individuelle en majorant les coûts de transport par rapport à la condition d'"indifférence spatiale". Cette déviation force alors les ménages à revoir leurs choix de localisation (Fujita [1989], Glaeser [2008], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). Il est possible que le renchérissement de la mobilité enclenche un mouvement de "retour vers le centre" : les ménages chercheraient à se rapprocher du centre-ville pour économiser un temps de déplacement dont le coût d'opportunité augmente avec le revenu⁹. Si l'offre de logements, bien souvent peu élastique, ne permet pas d'ajuster la densité résidentielle, cette révision des choix de localisation impulse une hausse des valeurs foncières dans le centre de l'agglomération (Fujita [1989], Glaeser [2008], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). La "tyrannie d'autrui" entraîne la "tyrannie du sol".

Non compensée par une revalorisation salariale de la part des firmes, autre "force de dispersion", cette évolution constitue un véritable repoussoir pour les ménages. S'ils existent et autorisent l'activité de la population, les "sous-centres" de l'agglomération voient leur attractivité augmenter (Anas et al. [1998], Fujita [1989], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009], Cavailhès [2004]). Au prix toutefois d'une "dépendance" accrue des populations aux véhicules automobiles. Les réseaux de transports publics sont en effet moins appropriés aux zones peu denses. De par les liens théoriques entre concentration spatiale et "sur-productivité", un tel éclatement territorial pourrait finalement réduire l'attractivité de l'agglomération dans son ensemble. En réduisant la rémunération des ménages ou les perspectives de profits des firmes, cette tendance les inciterait à changer leur région de localisation.

Ces divers arguments soulignent l'intérêt d'étudier l'externalité de congestion. Comme expliqué précédemment, les chapitres qui composent cette thèse sont essentielle-

9. Une recherche croissante d'aménités urbaines positives de la part des ménages, impulsée par des changements dans les modes de vie et démographiques, peut également renforcer cette "demande pour la centralité" (Glaeser, Kolko, and Saiz [2001]).

ment tournés vers l'économie des transports et l'économie publique. Plus empiriques que théoriques, les résultats des essais ne feront qu'effleurer les préoccupations propres à l'économie urbaine et régionale. En raison de l'importance des infrastructures étudiées, nous espérons toutefois qu'ils puissent aider à une discussion pertinente des dynamiques territoriales récentes dans la zone centrale parisienne (voir la Conclusion Générale).

Précisons également que cet exposé s'est jusque là limité à décrire l'externalité de congestion routière. Comme nous allons le défendre, cette "défaillance de marché" s'applique tout autant à d'autres modes de transports urbains, les métros notamment. Contribuant au coût social des villes, il semble alors important que les sciences régionales intègrent pleinement ce phénomène à leurs corpus théoriques.

1.2 QUESTIONS GUIDANT LE TRAVAIL DE THÈSE

Deux principales questions de recherche motivent cette thèse. En découlent deux préoccupations sous-jacentes. Ces préoccupations sont également liées aux spécificités et à la temporalité de notre aire d'étude, i.e. la zone centrale parisienne au début du 21^{ème} siècle.

1.2.1 QUEL EST LE COÛT DE LA CONGESTION ROUTIÈRE DANS UN CADRE D'ANALYSE "STATIQUE" ?

Alors même que la plupart des économistes voient en elle une des principales externalités urbaines négatives, il est tout d'abord frappant de constater la forte divergence d'opinions sur le coût généré par la congestion routière. À la lecture des méta-analyses et des rapports officiels (de Palma and Zaouali [2007], VTPI [2009], Orfeuil [2008a], Parry et al. [2007]), les estimations des pertes de bien-être résultant d'une utilisation sous-optimale des routes oscillent entre 0,1% et 2% des PIB natio-

naux. Comme l'ampleur d'un "mal" conditionne généralement les enjeux liés à sa "guérison", cette diversité des vues semble problématique. Quel est donc le coût de l'externalité de congestion pour la société? Et pourquoi les estimations des pertes de bien-être diffèrent-elles autant?

Une part de cette diversité d'opinions provient sans nul doute de l'intérêt qu'a suscité la congestion routière comme objet de recherche (Lindsey [2006], Small and Verhoef [2007]). L'étude de ce phénomène a en effet évolué au gré des changements méthodologiques ayant marqué l'histoire des sciences économiques. L'analyse "statique" (Walters [1961], Evans [1992], Verhoef [1999], de Palma and Fosgerau [2010]) de la congestion routière a ainsi vu se développer une approche "dynamique" (Vickrey [1969a], Arnott, De Palma, and Lindsey [1990], Leurent [2005], de Palma and Fosgerau [2010]), qui a pu être intégrée aux calculs complexes des "modèles d'équilibre général urbain" (Delons and Piron [2009], de Palma, Motamedi, Picard, and Waddell [2005a]) ou se rapprocher de l'ingénierie du trafic. Ces différents cadres de formalisation aboutissent logiquement à une pluralité du "coût généralisé" d'utilisation des routes (et donc associé à l'externalité de congestion).

Une autre part de cette diversité découle néanmoins de définitions différentes du phénomène, au sein du même cadre d'analyse. Concernant l'approche "statique" de la congestion routière, on dénombre ainsi trois visions concurrentes pour estimer les pertes de bien-être (Prud'homme and Sun [2000], Small and Verhoef [2007]). Comme nous allons le voir, ces visions ne sont pas toutes pertinentes vis-à-vis des fondements des sciences économiques. Inauguré avec les travaux de Pigou [1920], le cadre d'analyse "statique" constitue l'approche dominante de la congestion routière. Malgré les limites inhérentes au concept d'"équilibre partiel" sur lequel il repose, à commencer par son horizon de court-terme¹⁰, l'approche "pigouvienne" offre une grande lisibilité des variations de surplus résultant d'un usage inefficent des routes

10. Une modification sur un marché (celui de l'utilisation des routes par exemple) n'a aucune incidence sur les autres marchés du programme d'activités des individus (vie familiale ou professionnelle par exemple), et ce même si le bien du premier marché est une consommation intermédiaire nécessaire à la production du bien du second marché (statut accordé au temps).

(Small and Verhoef [2007], Verhoef [1999]). Elle présente donc d'indéniables vertues pédagogiques.

Ce travail de thèse s'inscrit dans une lecture essentiellement "statique" de la congestion. Bien qu'occultant une partie du coût lié à la congestion, i.e. ceux parfois nécessaires pour accéder à l'infrastructure et pointés du doigt par l'approche "dynamique"¹¹, ce choix facilite l'observation empirique du phénomène. A l'aide d'une étude de cas sur une infrastructure routière majeure, le boulevard Périphérique parisien, le second chapitre estime le coût "économique" de la congestion routière. Ce faisant, nous monétarisons les divergences d'opinions au sein du cadre d'analyse "statique" sur le coût de cette externalité.

1.2.2 L'EXTERNALITÉ DE CONGESTION EST-ELLE COÛTEUSE DANS LES MÉTROS ?

Le second constat qui motive cette thèse concerne l'asymétrie entre l'immense majorité des travaux académiques qui abordent la congestion dans le cadre des déplacements automobiles, et l'infime minorité qui s'y intéressent pour les transports publics. Les transports publics ont surtout été vus comme bénéficiant d'externalités positives. Dans le cas des bus (Mohring [1972], Small and Verhoef [2007], Bonnafous [2004], Proost and Dender [2008]), une hausse de la demande incite l'opérateur à augmenter le nombre de véhicules en circulation, ce qui réduit la durée des voyages et attire les individus. Pour les modes ferrés, qu'ils soient lourds (trains régionaux, métros) ou légers (tramways), une fréquentation accrue génère une "externalité pécuniaire" modérant la contribution personnelle aux coûts fixes des infrastructures

11. L'approche dynamique de la congestion routière repose sur le concept d'"équilibre de Nash", i.e. tel que les individus n'ont plus intérêt à modifier leurs comportements étant données les réactions stratégiques des autres individus. L'avantage de cette approche ne réside pas tant dans l'analyse des pertes de temps sur l'infrastructure, mais plutôt dans l'étude de celles liées au franchissement du "goulot d'étranglement", i.e. pour accéder à l'infrastructure lorsque la demande est tellement forte qu'une queue se forme en dehors de celle-ci. Le "coût généralisé" est ainsi composé du coût temporel des déplacements mais également de "scheduling costs", i.e. coûts psychologiques associés aux départs précoces et aux arrivés tardives. Les individus arbitrent entre ces deux composantes afin de franchir le "goulot d'étranglement" et arriver à destination à l'heure souhaitée.

(Tabuchi [1993]).

Ces propos doivent être nuancés et mentionner la littérature récente étendant le concept de "goulot d'étranglement" (issu de l'analyse "dynamique" de la congestion routière) aux réseaux de transports publics, notamment aux métros (Arnott and Yan [2000], Kraus and Yoshida [2002], Kraus [2003], Leurent and Askoura [2010]). En cas d'excès de la demande, la moindre qualité du service se traduit alors par des déplacements plus longs : temps d'accès aux (et d'attente sur les) quais, fréquence des trains ralentie, voyages en véhicules moins rapides, prévisibilité moindre. S'il décrit bien une externalité de congestion, ce "goulot d'étranglement" a reçu un accueil mitigé de la part des chercheurs. Parce qu'il ne s'applique que dans des configurations extrêmes d'utilisation des réseaux, cet effet est infime (ou absent) dans la plupart des travaux empiriques sur la répartition modale optimale (Parry and Small [2009], Proost and Dender [2008]).

Conformément à certains articles récents (Litman [2008], Li and Hensher [2011], Wardman and Whelan [2011], Prud'homme, Koning, Lenormand, and Fehr [2010], de Palma, Kilani, and Proost [2011]), nous pensons que l'externalité de congestion dans les transports publics est plus coûteuse que ne le suggère l'état actuel de la littérature. Ainsi, la qualité du service offert par les infrastructures de transports publics n'est pas uniquement associée à la durée (objective) des voyages. Elle dépend également du "vécu" des déplacements, celui-ci altérant le "coût généralisé" via la perception individuelle (subjective) du temps de transport et la valorisation qu'y attachent les individus (Litman [2008], Li [2003]).

Une dimension essentielle de la qualité du service concerne l'espace disponible pour un usager à l'intérieur des véhicules, i.e. le confort. Être debout ou assis durant un voyage modifie substantiellement l'utilité individuelle (Li and Hensher [2011], Wardman and Whelan [2011]). Des études psychologiques ont par exemple montré que des trains bondés augmentaient le stress des voyageurs, avec ses pathologies ou ses pertes d'efficacité au travail (Wener, Evans, and Boatley [2005], Evans and Wener

[2007]). Les "satisfactions déclarées", i.e. proxy de l'utilité découlant de la mobilité, sont également moindres lorsque les individus se déplacent dans des conditions inconfortables (Cantwell, Caufield, and O'Mahony [2009])¹². Dans un langage économique, l'externalité de congestion dans les métros implique que le "coût généralisé" de ce mode de transport est fonction croissante du nombre d'utilisateurs, à durée de déplacement invariante. Elle détruit donc du surplus économique par rapport à l'optimum avant même que l'infrastructure ne fonctionne comme un "goulot". Un individu utilisant un métro bondé perçoit uniquement son temps de voyage comme plus inconfortable. Il oublie que sa présence dans le train réduit le confort des autres voyageurs, i.e. inflige un coût externe.

Bien que des cabinets de "conseils" anglais ou australiens aient étudié les liens entre valeurs du temps et niveau de fréquentation dans les trains depuis une vingtaine d'années (Li and Hensher [2011], Wardman and Whelan [2011]), cette externalité reste largement négligée par les sciences économiques, surtout au niveau empirique¹³. En étudiant les "préférences déclarées" des usagers de la ligne 1 du métro parisien, le troisième chapitre apporte des éléments d'éclairage sur la valorisation de la congestion dans les transports urbains ferrés. Nous mobilisons pour cela la méthodologie d'évaluation contingente (Luchini [2003], Mitchell and Carson [1989], Haab and McConnell [2003], D4E [2004]).

1.2.3 COMMENT UNE VUE PARTIELLE DE L'EXTERNALITÉ DE CONGESTION MODIFIE-T-ELLE L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES POLITIQUES PUBLIQUES ?

Les deux questions précédentes ne sont pas circonscrites à l'économie des transports. Elles s'inscrivent pleinement dans le champ de l'économie publique. Avant de parfois déplorer le manque de bienveillance des décideurs publics, il est important

12. Cet effet est plus marqué pour les déplacements en métro que pour les déplacements en bus.

13. Au niveau analytique, les "crowding costs" sont identifiés depuis Kraus [1991]. Ils sont analytiquement présents mais complètement occultés dans les applications empiriques des modèles de "goulot".

de s'interroger sur la qualité des conseils prodigués. Ils sont peut-être biaisés par la vision du phénomène qu'ont les "conseillers du Prince". Que l'externalité de congestion concerne les routes ou les métros, les chapitres de cette thèse tentent d'appréhender les conséquences de ces biais dans une optique d'évaluation des politiques publiques.

Avoir une idée cohérente du montant des ressources annuellement détruites sur les routes permet en effet de mieux cibler les enjeux liés à la "correction" de l'externalité de congestion. Et éventuellement d'objectiver le débat public sur les "maux" engendrés par la mobilité automobile. Non pas dans l'optique de défendre celle-ci, mais plutôt dans celle de rendre plus "laïques" et moins idéologiques les discussions l'entourant (Orfeuill [2008a]). Par ailleurs, si les économistes n'arrivent pas à s'accorder sur la perte de bien-être résultant de la sur-utilisation des routes, qu'en est-il des péages de congestion ? Le choix de la taxe à appliquer est-il évident ? En abordant cet outil d'intervention pour une infrastructure réelle, le second chapitre permet d'illustrer certains défis que doivent relever les décideurs publics soucieux d'introduire une "régulation par les prix" sur les routes.

Reconnaître l'existence d'une externalité de congestion dans les métros modifie également le regard que doivent porter les planificateurs sur leurs politiques des transports (Li [2003], Litman [2008], Li and Hensher [2011]). Si ce mode est censé accueillir les automobilistes délaissant leurs véhicules en centre-ville, il ne peut recevoir un report trop important si les individus valorisent le confort de leurs déplacements. L'arrivée des automobilistes augmenterait en effet le "coût généralisé" de nombreuses personnes. En sus de mitiger les gains de décongestion routière, cet effet repousserait alors le report modal effectif. Inversement, désengorger les métros lorsque les voyages sont inconfortables génère des bénéfices externes de décongestion¹⁴. Le troisième chapitre propose dans cette optique une valeur tutélaire pour le confort des déplacements réalisés dans le métro parisien. Bien que le rapport Boi-

14. Les liens entre externalité de congestion dans les métros et productivité urbaine (ou configuration spatiale de l'agglomération), tels qu'illustrés précédemment avec la voiture, peuvent également exister.

teurs¹⁵ conseille de majorer de 50% le coût d'opportunité du temps de déplacement lorsque les voyageurs sont debouts dans les trains (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Équipement [2005]), ces recommandations ne sont étayées par aucune étude empirique. Les valeurs tutélaires jouant grandement sur les résultats des calculs économiques (Chevasson [2007]), il importe donc de regarder si cette "discrétion" est justifiée.

Le calcul économique occupe une place centrale dans le processus des choix collectifs liés aux infrastructures de transport (Maurice and Crozet [2007], Quinet [2000], Orfeuil [2008a], Commissariat Général du Plan [2001]). Il offre des instruments pour évaluer des projets, les classer selon divers critères et en déduire l'ordre de réalisation afin que le bien-être collectif retiré d'une enveloppe budgétaire donnée soit maximal (Maurice [2007])¹⁶. L'analyse coûts-bénéfices (ou coûts-avantages) constitue dans ce cadre l'instrument de référence. Sa pratique est obligatoire en France depuis 1982 en vertu de la Loi sur l'Organisation des Transports Intérieurs¹⁷. Les bilans socio-économiques (intégrant les effets externes) doivent ainsi être conduits avant (ex ante) et après (ex post) le lancement des "grands projets d'infrastructures"¹⁸. Même si l'analyse "multi-critères" a un temps remis en cause son hégémonie, l'analyse coûts-bénéfices présente l'avantage de rapporter à une échelle commune la "rentabilité sociale" de l'infrastructure, i.e. la Valeur Actualisée Nette et le Taux de Rendement Interne. En monétarisant les évolutions (temps, argent, environnement) induites par une nouvelle infrastructure, elle évite donc d'accorder un poids inconsidéré à une unique dimension des projets. A condition que les phénomènes identifiés et les valeurs tu-

15. Le rapport Boiteux constitue le rapport officiel définissant les critères à considérer, et les valeurs à appliquer à ces critères, dans le cadre des études "transport" en France.

16. En expliquant aux citoyens les bienfaits (et méfaits) des infrastructures concurrentes, les résultats des études prospectives améliorent également "l'acceptabilité" des politiques entreprises.

17. Elle fut renforcée en 1996 (Loi sur l'Aire et l'Utilisation Rationnelle des Énergies) et en 1999 (Loi pour l'Orientation, l'Aménagement et le Développement du Territoire).

18. Ces études sont la plupart du temps effectuées soit par du personnel ministériel, soit par des ingénieurs des Grandes Écoles françaises, telle que celle des Ponts et Chaussées. Quatre observations concernant ces bilans socio-économiques : si les études ex ante sont bien souvent menées, celles ex post sont bien plus rares ; lorsque celles-ci sont produites, les résultats diffèrent grandement des études ex ante ; d'une manière générale, la pratique de l'évaluation a connu un déclin en France depuis une vingtaine d'années ; l'abaissement en 2004 du taux d'actualisation à appliquer aux projets de 8% à 4% (Commissariat Général du Plan [2005]) a rendu éligibles un plus grand nombre d'infrastructures.

télaire retenues soient pertinents, évitant tout biais "technocratique" ou "politique" (Crozet [2004]).

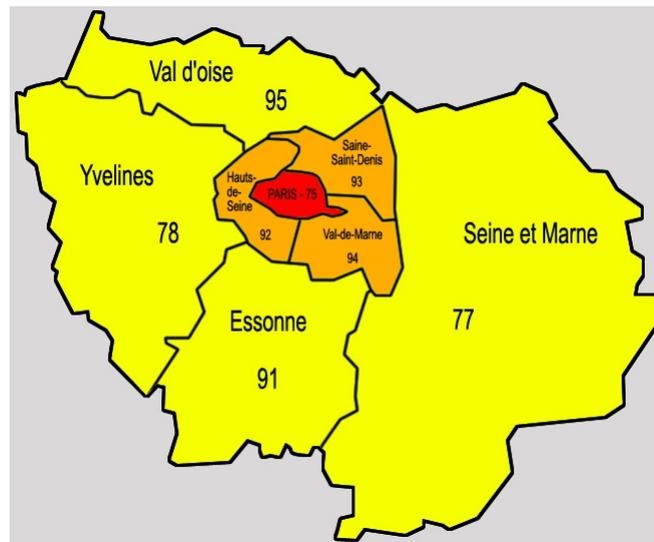
Inscrit dans cette perspective, le quatrième chapitre présente l'analyse coûts-bénéfices d'une ligne de tramway ouverte fin 2006 sur le boulevard des Maréchaux, dans le sud de Paris. Cet exercice semble offrir une parfaite illustration de l'influence que prend l'externalité de congestion lors des évaluations de politiques publiques, que ce soit pour les routes ou le métro.

1.2.4 QUELLE EST ÉVOLUTION DE LA CONGESTION DANS LES TRANSPORTS À PARIS DEPUIS LE DÉBUT DES ANNÉES 2000 ?

La dernière question qui anime ce travail de thèse concerne l'évolution de la congestion dans les transports à Paris. En retenant une perspective comparative entre le début des années 2000 et 2007, les chapitres tentent ainsi de cerner la tendance suivie par cette "force centrifuge" dans la zone centrale. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, la dégradation de la qualité du service offert par les infrastructures de transport est un phénomène grandement inscrit dans le temps et dans l'espace. L'externalité de congestion peut ainsi être vue comme la "rançon du succès urbain". Notre aire d'étude, la zone centrale parisienne, apparaît à cet égard des plus intéressantes. Notamment depuis le début des années 2000.

1.3 LA ZONE CENTRALE PARISIENNE COMME AIRE D'ÉTUDE

La région Ile-de-France compte plus de 1200 communes réparties sur une surface de 12000 km². Concentrant 19% de la population nationale et 29% du PIB français au début des années 2000 (Davezies [2008b]), il s'agit d'une région métropolitaine de premier ordre. Elle présente ainsi une "sur-productivité" considérable (Davezies [2008b], Rousseau [1998], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]), i.e. +57% par rapport



Graphique 1.1 – La région Ile-de-France

à la moyenne nationale en 2000 (données Eurostat)¹⁹. Le PIB régional équivaut à celui de l'Australie par exemple, faisant de l'Ile-de-France un des espaces les plus productifs et les plus attractifs au monde (Huriot and Bourdeau-Lepage [2009], Gilli [2008], Gilli and Offner [2009]).

Comme l'illustre la figure (1.1), la région Ile-de-France peut être découpée en 3 espaces : la zone centrale parisienne, la Petite Couronne et la Grande Couronne. L'espace premier nommé constitue l'aire d'étude de cette thèse, les infrastructures analysées y ayant l'essentiel de leurs tracés. La zone centrale parisienne se limite à la municipalité de Paris et au boulevard Périphérique²⁰. Avant de dresser l'état de la mobilité au sein de cette aire géographique, notamment l'importance qu'y revêt l'externalité de congestion, il convient de revenir brièvement sur les évolutions socio-économiques ayant marqué l'Ile-de-France durant la seconde moitié du 20ème siècle.

19. Une grande part de cette "sur-productivité" ne peut être imputable aux "économies d'agglomération" "stricto-sensu", mais plutôt au "sorting" des individus les plus productifs dans la région Ile-de-France. Cet effet est important dans l'étude des élasticités des "économies d'agglomération" par rapport à la densité (Combes et al. [2004]).

20. La Petite Couronne se compose des départements limitrophes à la ville capitale : Hauts-de-Seine, Seine Saint-Denis et Val de Marne. La Grande Couronne comprend quant à elle la Seine-et-Marne, les Yvelines, l'Essonne et le Val-d'Oise. Il est parfois dit que l'échelle administrative régionale concorde assez bien avec l'espace fonctionnel de l'agglomération parisienne, et ce malgré l'existence de "bassins de vie" plus éloignés. Nous assimilons donc dans cette thèse l'agglomération parisienne à la région Ile-de-France.

1.3.1 LA ZONE CENTRALE PARISIENNE DANS L'ÎLE-DE-FRANCE : ÉVOLUTIONS ENTRE 1960 ET 2000

Imputable aussi bien à la diffusion sociétale du mode automobile qu'à la volonté politique de l'époque de décentraliser la population et les activités "hors" de Paris (Gilli and Offner [2009], Sheamur and Alvergne [2003])²¹, la "péri-urbanisation" a foncièrement transformé le paysage francilien. Alors que la population régionale a augmenté de 33% entre 1960 et 2000 (11 M d'habitants en 2000), la répartition spatiale des résidences a évolué aux dépens de la zone centrale parisienne (tableau (1.1)). Celle-ci a en effet perdu 25% de ses habitants sur la période (2 M d'habitants en 2000²²), contrairement aux Petite et (surtout) Grande Couronnes qui ont accueilli l'afflux de population prenant part à l'exode rural. Notons que ce rédéploiement de la population régionale ne s'est pas accompagné d'une "fuite du centre" de la part des ménages riches, à l'opposé de ce qui fut observé dans les autres aires urbaines françaises ou dans d'autres pays (Hurriot and Bourdeau-Lepage [2009], Brueckner et al. [1999])²³. Dans le même temps, les emplois se sont développés dans les espaces les plus éloignés de la capitale, brisant au milieu des années 1970 la configuration monocentrique de l'agglomération et se restructurant, entre 1980 et 1990, autour des pôles d'activité les plus matures (Gilli [2005], Gilli [2009], Sheamur and Alvergne [2003]). Entre 1978 et 1997, la zone centrale parisienne a perdu 18% de ses emplois alors que la Grande Couronne a vu leur nombre multiplié par 2,5 (tableau (1.2)).

Ces mutations territoriales facilitent l'interprétation du tableau (1.3). Entre 1976 et 2001, la "croissance étalée" de l'agglomération parisienne s'est traduite par une forte progression de la part des véhicules automobiles dans la mobilité régionale (32% des

21. La politique des "Villes Nouvelles" issue du "Plan Delouvrier", i.e. le Schéma Directeur de 1965, fut sur ce point primordiale.

22. Avec une superficie de 105 km², la densité résidentielle est néanmoins de 21000 hab/km² en 2000, une des plus fortes au monde.

23. Les aménités urbaines exogènes, fortement centralisées dans la capitale, ont en effet "fixé" les classes aisées dans les limites administratives de Paris, les aménités endogènes renforçant ensuite la tendance (Brueckner et al. [1999]). En 1999, le revenu imposable des ménages Parisiens est de 21800 euros (par unité de consommation). Il est proche de 15000 euros dans les Couronnes de l'agglomération (un peu supérieur en Petite Couronne) (Hurriot and Bourdeau-Lepage [2009]).

Tableau 1.1 – Évolution de la population régionale, 1960-2000

	Paris	Petite Couronne	Grande Couronne	Total
Population 1960 (M habitants)	2,8	3,3	2,1	8,2
% population régionale 1960	34,2%	40,2%	25,6%	100%
Population 2000 (M habitants)	2,1	4	4,8	10,9
% population régionale 2000	19,3%	36,7%	44%	100%
Variation 1960-200	-25%	21%	129%	33%

Source : Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]

Tableau 1.2 – Évolution de l'emploi régional, 1978-1997

	Paris	Petite Couronne	Grande Couronne	Total
Emploi 1978 (M emplois)	1,8	1,7	1,1	4,6
% emploi régional 1978	41,1%	35,5%	23,3%	100%
Emploi 1997 (M emplois)	1,5	1,8	1,5	4,8
% emploi régional 1997	32,4%	36,1%	31,5%	100%
Variation 1978-1997	-18%	+5%	+40%	+4%

Source : Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]

déplacements en 1976, 44% en 2001, la mobilité régionale ayant augmenté de 16%). Les transports en communs voient leurs parts stagner sur la même période (19% en 2001), même si connaissant une croissance absolue de 15%. Cette évolution est cohérente avec la répartition spatiale des déplacements (tableau (1.4)), elle même liée à la nouvelle géographie des résidences et de l'activité, d'une nature plus polycentrique. Ce sont essentiellement les déplacements internes à la Grande Couronne qui se sont développés sur la période (30% des déplacements en 1976, 37% en 2001), là où les véhicules automobiles possèdent un fort attrait par rapport aux transports ferrés. Inversement, les déplacements intéressant la zone centrale (internes à Paris, ou entre les deux Couronnes et la capitale) ont vu leur part dans la mobilité régionale baisser de 10% (29% des déplacements en 2001).

Tableau 1.3 – Répartition modale des déplacements quotidiens (en milliers) en Ile-de-France, 1976-2001

	1976	1983	1991	1997	2001
TC	5950	6210	6660	6830	6820
Part (%)	20%	20%	20%	19%	19%
VP	9800	11800	14370	16590	15450
Part (%)	32%	38%	43%	45%	44%
Deux-roues	1610	900	640	770	730
Part (%)	5%	3%	2%	2%	2%
Autres	350	320	270	190	170
Part (%)	1%	1%	1%	1%	0%
Marche	12630	11930	11220	12370	12000
Part (%)	42%	38%	34%	34%	34%
Total	30340	31160	33160	36750	35160

Source : Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002]

Cette moindre importance des déplacements parisiens est à relativiser. Bien qu'elle en ait perdu un nombre non-négligeable, la zone centrale concentrait toujours plus de 30% de l'emploi régional en 1997, sur moins de 1% du territoire francilien. C'est notamment le cas des activités à hautes valeurs ajoutées ou de celles décisionnelles (les "emplois métropolitains supérieurs", Pinçon and Pinçon-Charlot [2008], Huriot

Tableau 1.4 – Répartition spatiale des déplacements motorisés quotidiens (en milliers) en Ile-de-France, 1976-2001

	1976	1983	1991	1997	2001
Paris-Paris	3230	3200	3130	3300	2970
Part (%)	18%	17%	14%	14%	13%
Paris-PC	2670	2660	2800	2700	2750
Part (%)	15%	14%	13%	11%	12%
Paris-GC	1010	1100	1240	1180	1110
Part (%)	6%	6%	6%	5%	5%
Intéressant Paris	6910	6960	7170	7180	6830
Part (%)	39%	36%	33%	29%	29%
PC-PC	4080	4570	4900	5850	5410
Part (%)	23%	24%	22%	24%	23%
PC-GC	1270	1410	1890	2020	1950
Part (%)	7%	7%	9%	8%	8%
GC-GC	5230	6040	7700	8920	8640
Part (%)	30%	31%	35%	37%	37%
Hors IdF	220	240	280	410	330
Part (%)	1%	1%	1%	2%	1%
Total	17710	19230	21940	24380	23160

Source : Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002]

and Bourdeau-Lepage [2009]). Illustrant les intérêts liés à l'agglomération de la production²⁴, cette observation implique une demande de mobilité locale considérable²⁵ : quotidiennement, plus de 900000 habitants des Couronnes vont et viennent à Paris pour des motifs de "travail" et/ou "professionnel" (Jabot [2006]). En ajoutant la mobilité des résidents²⁶, le nombre de déplacements mécanisés intéressant le centre de l'agglomération s'élevait en 2001 à environ 7 millions par jour. Entre 1976 et 2001, la baisse absolue de cette mobilité est uniquement de 1%²⁷.

Comme le montre le tableau (1.5), la marche à pieds constituait en 2001 le principal mode de déplacement à l'intérieur de Paris (54,7%), principalement pour des déplacements de courte distance. Concernant la mobilité mécanisée, les comportements observés à l'échelle régionale s'inversent. On constate une prédominance des transports en communs dans Paris (30%), mais également pour rejoindre ou venir des Couronnes de l'agglomération (environ 60%). Le réseau de transports publics parisiens est en effet très attractif. Organisé "en étoile" au niveau régional, il rend accessible la quasi-totalité de la zone centrale. Le réseau de métros possède un maillage ayant peu d'équivalents au monde. Avec une vitesse de circulation basse (16,6 km/h en 2001, Observatoire de la mobilité de la ville de Paris [2007]), la voiture est logiquement d'une importance plus secondaire (13% des déplacements dans Paris et plus de 36% des liaisons avec le reste de l'agglomération). C'est d'ailleurs ce mode de transport qui a supporté l'essentiel du recul de la mobilité mécanisée intéressant Paris entre 1991 et 2001, surtout pour les déplacements "intra-muros" (Courel et al.

24. La densité d'emplois est de 14270 emplois/km² dans la zone centrale parisienne, contre 2250 emplois/km² et 129 emplois/km² pour respectivement la Petite Couronne et la Grande Couronne.

25. Nous ne nous intéressons pas dans cette thèse aux déplacements de longue distance (supérieurs à 100 kilomètres, voir Orfeuill [2007]). En raison de l'attractivité internationale de la "ville lumière", que ce soit pour le tourisme personnel et d'affaires, ou encore du développement du réseau de trains à grande vitesse, le flux des déplacements de longue distance intéressant Paris est considérable.

26. Il est possible de calculer depuis l'Enquête Globale Transport (2002) que les Parisiens représentaient en 2001 environ 45% des déplacements réalisés en voiture ou en transports publics, dans ou en liaison avec Paris, voir la Conclusion Générale.

27. En décomposant ces déplacements, on remarque que ce sont surtout les déplacements internes à Paris qui ont baissé (en valeur absolue) de 9% entre 1976 et 2001. Ceux reliant la Petite Couronne et la Grande Couronne à la municipalité de Paris ont augmenté de 3% et de 10% respectivement (Courel, Meyere, and Nguyen-Luong [2005]).

[2005])²⁸.

Tableau 1.5 – Répartition modale des déplacements intéressant Paris, 2001

	Paris-Paris	Paris-Petite Couronne	Paris-Grande Couronne
Marche	54,70%	2,10%	-
TC	29%	56,90%	63,40%
VP	12,80%	37%	35,10%
2R	2,80%	2,80%	1,80%
Autres	0,70%	0,70%	-
Total	100%	100%	100%

Source : Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002]

Cette dernière remarque ne doit pas minorer l'intérêt lié à l'étude de la congestion dans la zone centrale de l'agglomération. D'un point de vue historique tout d'abord, les problèmes d'encombrement et de partage de la voirie ont régulièrement animé les débats parisiens durant le développement des mobilités équestre ou automobile (Flonneau [2003]). Parce qu'ils sont les plus densément occupés, l'Ile-de-France en général, et la zone centrale parisienne en particulier, sont surtout les territoires français où la congestion routière détruit le plus de bien-être. D'après les données de la Gendarmerie Nationale, la région concentrait environ 89% des encombrements nationaux en 2000, sur moins de 2% du territoire (Union Routière Française [2007])²⁹. La part du seul boulevard Périphérique parisien s'élevait à 29%, pour 35 kilomètres de voirie (Union Routière Française [2007]). De plus, les conditions de circulation automobile sont se sont dégradées au niveau régional entre 1990 et 1999, avec une baisse des vitesses d'autant plus prononcée que les déplacements étaient associés à la zone centrale parisienne (-8% en moyenne régionale, Wenglenski [2007]). Si la situation est quelque peu différente pour les transports en commun, l'apparente stabilité des déplacements intéressant Paris cache une dangereuse atonie des investis-

28. La baisse de l'utilisation des voitures décroît de manière inverse avec la distance à parcourir. Entre 1991 et 2001, on trouve ainsi -18% pour les déplacements internes, -10% pour les liaisons avec la Petite Couronne et -5% pour celles avec la Grande Couronne (Courel et al. [2005]).

29. Il est important de préciser que les données de la Gendarmerie Nationale occultent la congestion routière en milieu urbain. En effet, sont considérées comme "encombrements" les heures de files passées à conduire sous 30 km/h.

sements en capacités d'accueil³⁰. Finalement, les changements de mobilité observés dans la zone centrale parisienne depuis le début des années 2000 placent l'externalité de congestion au centre de l'analyse.

1.3.2 LA POLITIQUE DES TRANSPORTS ENTREPRISE DEPUIS LE DÉBUT DES ANNÉES 2000 ET LES CHANGEMENTS DE MOBILITÉ OBSERVÉS

On ne peut attribuer l'ensemble des évolutions présentées ci-dessous à l'alternance d'équipe municipale intervenue en 2001. Ainsi, les changements générationnels de mentalité vis-à-vis du "mythe" automobile (Orfeuill [2008a]) ou la prise de conscience des méfaits de ce mode de transport sur l'environnement s'étaient traduits par des politiques antérieures visant à en réduire l'usage, que ce soit à l'échelle régionale ou parisienne³¹. Nous avons par ailleurs expliqué que la mobilité automobile intéressant Paris avait commencé à chuter entre 1991 et 2001. Il reste néanmoins indéniable que la politique des transports a connu un réel tournant avec l'arrivée de Bertrand Delanoë à la tête du Conseil Municipal. Menée conjointement avec les autres autorités compétentes³², l'action "anti-voiture" s'articule depuis 2001 autour d'un certain nombre de mesures :

1. L'espace alloué aux automobiles dans Paris (circulation et parking) a été réduit de 25% à 30% suite à d'importants travaux d'aménagement de la voirie.
2. Une partie de cet espace viaire a été redistribuée aux modes de transport "propres" déjà existants, notamment la marche à pieds et les bus qui disposent désormais

30. Atonie en total contraste avec les investissements ferrés "lourds" ayant accompagné la politique des "Villes Nouvelles" dans les années 1960 et 1970, i.e. les RER notamment.

31. Ces objectifs et mesures sont notamment inscrits dans le Schéma Directeur régional de 1994, le Plan des Déplacements Urbains de la région Ile-de-France (2000) ou l'action municipale antérieure.

32. A l'instar d'autres domaines d'intervention publique, l'organisation des transports en Ile-de-France ressemble à un "mille-feuilles institutionnel". Ainsi, le financement des infrastructures est pris en charge (généralement conjointement) par l'État, la région et les municipalités, avec une participation croissante des acteurs privés dans le cadre des contrats de Partenariat Public-Privé. La régulation (offre et tarification) des transports en commun est à la charge de la région via le STIF (Syndicat des Transports de la région Ile-de-France) qui délègue le service à la Régie Autonome Des Transports Parisiens (RATP), à la Société Nationale des Chemins de Fer (SNCF) ou à des opérateurs privés (Véolia par exemple). Les municipalités ont quant à elle la charge de la voirie. Dans le cas de Paris finalement, la Préfecture de Police gère la circulation et les règles de stationnement.

de multiples voies protégées.

3. Une autre part de la voirie a permis de stimuler l'usage de modes de transport oubliés dans Paris, ou sous-utilisés. Profitant d'une mise en "site propre" sur les boulevards des Maréchaux, le tramway a ainsi fait son retour dans la capitale en 2006³³, après 70 années d'absence.
4. Un système de location de vélos ("Vélib") a également été mis en service en 2007 dans le cadre d'un contrat de Partenariat Public-Privé entre la Ville de Paris et J.C. Decaux. De nombreuses pistes cyclables ont été créées pour l'occasion.
5. Le stationnement résidentiel a été favorisé (forte baisse des tarifs pour les Parisiens, en hausse pour les non-résidents). Les contraintes se sont elles renforcées pour le stationnement professionnel.
6. Des "quartiers verts" et des "quartiers tranquilles" ont vu le jour au sein desquels l'accès aux véhicules automobiles est encore plus régulé (vitesses en dessous de 30 km/h, suppression de la circulation de transit au profit de la desserte locale, élargissement des trottoirs).

Il est possible d'interpréter cette politique des transports comme une réponse à la demande latente des Parisiens (souhaitant d'autant plus voir disparaître les "nuisances" des voitures qu'ils utilisent peu ce mode, 18% de leurs déplacements³⁴, et "vivent" davantage la ville³⁵) conjuguée à un jeu de "log-rolling"³⁶ donnant la charge des transports municipaux au parti politique (les Verts) le plus enclin à agir contre les mobilités polluantes au sein de la coalition municipale³⁷. Entre 2000 et 2007,

33. Deux lignes fonctionnaient déjà à cette époque en Petite Couronne.

34. Les Parisiens sont très peu motorisés : 0,29 véhicule par habitant. Réalisant 82,6% de leurs déplacements dans Paris, ils utilisaient en 2001 principalement leurs pieds (46,5%) ou les transports publics (32%), voir Couderc [2007] et la Conclusion Générale.

35. Le nombre de Parisiens travaillant dans Paris décroît (Caenen, Couderc, Courdel, Paulo, and Simeon [2010]). Ceux-ci vont de plus en plus dans les Couronnes de l'agglomération pour exercer leur profession, i.e. "inverse commuters". Dans ce cadre, la ville centre est plus vue comme un lieu de "consommation" que de "production" (Glaeser et al. [2001]).

36. Aux élections de mars 2001, Bertrand Delanoë (Parti Socialiste) frôle la majorité au Conseil de la ville de Paris grâce à sa coalition avec les Verts et Parti Communiste (49,6% des voix).

37. Répondre à cette question nécessiterait une thèse à part entière. Elle suppose en effet l'étude de l'alternance électorale intervenue en 2001, grandement liées à la nouvelle population parisienne

Tableau 1.6 – Répartition modale des déplacements intéressant Paris (milliards de pkm), 2000-2007

	2000	2007	Croissance (%)	Part modale (2007)
Métros parisiens	6,1	7,0	+13,6%	32%
Trains régionaux (RER + SNCF)	4,8	5,4	+12,5%	26%
Total réseau ferré	10,9	12,4	+12,5%	58%
Bus	1	0,8	-16 %	4,3%
Voitures	6,7	5,1	-23,7%	23,6%
Voitures (Périphérique)	1,9	1,7	-7,4%	8%
Taxis	0,2	0,2	+0%	3,4%
Motos	1,1	1,4	+36%	2,2%
Total réseau routier	10,8	9,2	-13%	41,6%
Ensemble	21,7	21,6	-0,8%	100%

Source : Kopp [2011]

ces mesures ont profondément modifié la répartition modale des déplacements intéressant Paris, comme illustré dans le tableau (1.6). La mobilité y est exprimée en *passager × kilomètre*. Permettant de travailler avec des coûts kilométriques, cette unité de mesure prend aussi bien en compte le nombre de personnes se déplaçant³⁸ que les distances parcourues. Elle reflète plus fidèlement l'utilité collective liée aux transports.

La tendance à la moindre utilisation des voitures dans Paris s'est accentuée entre 2000 et 2007. La mobilité automobile a ainsi chuté de 24%. Dans le même temps, le réseau ferré a vu ses parts modales augmenter. Il compte désormais pour 58% des kilomètres intéressant Paris. Cette hausse de la fréquentation porte aussi bien sur le réseau de trains régionaux (+12,5%) que sur celui de métros parisiens (+13,6%). Malgré les aménagements de la voirie à son avantage, le réseau de bus a paradoxalement perdu en part modale (-16%), sur un bien plus faible volume cependant. Ce mode

et aux transformations socio-économiques en cours, notamment la "gentrification" de Paris ou sa transformation en "Ville créative" (Pinçon and Pinçon-Charlot [2008], Vivant [2009], Clerval [2008]). Nous ne ferons qu'aborder certains aspects de ces changements dans la Conclusion Générale.

38. Il convient donc de prendre en compte le taux d'occupation des différents modes.

de transport voit son retard se creuser par rapport aux deux-roues motorisés, les déplacements en motos ayant connu une forte croissance entre 2000 et 2007 (+36%, voir Kopp [2011]). Au final, la mobilité parisienne semble avoir connu un léger recul entre 2000 et 2007 (-1%), tendance similaire à celle observée dans les autres agglomérations urbaines françaises. Cette dernière remarque doit toutefois être nuancée. Le tableau (1.6) occulte les déplacements réalisés en tramway ou en vélo. La contribution de ces modes à la mobilité parisienne ainsi mesurée est toutefois modeste : respectivement 0,5%³⁹ et 1,3%⁴⁰ en 2007.

Au regard de ces chiffres, il semble donc que la volonté municipale en matière de réduction de la mobilité automobile a été exaucée. Les politiques entreprises ont fait reculer davantage l'utilisation des voitures dans les rues de la capitale. Le réseau ferré, plus "propre" et plus "durable"⁴¹, accueillait en 2007 un nombre supérieur de voyageurs. Au niveau environnemental, cette évolution s'est accompagnée d'une réduction de 32% des émissions polluantes imputables aux transports dans Paris entre 2002 et 2007 (de Pars and Léger [2009]). Cette baisse est toutefois bien plus liée aux moteurs des véhicules qui sont devenus plus "verts"⁴² et au renouvellement du parc automobile qu'à la politique des transports à proprement parler (-6% uniquement, de Pars and Léger [2009]). L'action municipale a par ailleurs été confirmée en 2007 avec la signature d'un ambitieux Plan des Déplacements Urbains. Ce plan vise à réduire de 40% l'utilisation des véhicules automobiles dans Paris entre 2000 et 2020⁴³. L'équipe municipale a finalement été reconduite dans ses fonctions lors des élections

39. On obtient ce ratio en utilisant les données du Chapitre 4.

40. On obtient ce chiffre en considérant que 28 M de déplacements ont été réalisés en Vélib en 2008, ceux-ci représentant 35% des voyages en vélo dans Paris (Observatoire de la mobilité de la ville de Paris [2008]). On prend ensuite une longueur moyenne de 3,5 kilomètres par déplacement.

41. Nous n'aborderons pas dans cette thèse le financement public des transports en commun qui vient parfois en nuancer la "durabilité" de ceux-ci (Orfeuil [2008a], Bouf and Hensher [2007]), même si à un degré moindre en Ile-de-France en raison d'une forte fréquentation des réseaux et des "économies d'échelle".

42. En raison notamment des normes imposées aux constructeurs par la Commission Européenne, voir Union Routière Française [2007] et Orfeuil [2008a].

43. Avec une forte stimulation de l'offre de logements, le Schéma Directeur régional de 2008 accorde également une place centrale aux politiques des transports afin de réduire l'utilisation des véhicules automobiles en Ile-de-France.

de 2008 avec une majorité renforcée⁴⁴.

1.3.3 ENJEUX ACTUELS LIÉS À LA CONGESTION DES TRANSPORTS À PARIS

Pour l'analyse économique, les changements de mobilité intervenus entre 2000 et 2007 dans la zone centrale parisienne sont fortement marqués par l'externalité de congestion. La politique municipale des transports a ainsi suscité des controverses que permettent d'éclairer, chacun à leur manière, les trois chapitres de cette thèse.

A contrario de Londres ou de Stockholm qui ont opté pour une "régulation par les prix" (Eliasson [2009], Santos and Bharkarb [2006]), Paris utilise plutôt une politique de "régulation par les quantités" (Prud'homme and Kopp [2008]). Cette politique a eu pour conséquence de réduire de 10% la vitesse moyenne de circulation dans Paris (15,7 km/h en 2007, Observatoire de la mobilité de la ville de Paris [2008]), et ce en dépit de la forte baisse de la circulation. Autrement dit, on a lutté contre la congestion "par la congestion" (Crozet [2007]). Même s'ils sont moins nombreux dans les rues de Paris en 2007, les automobilistes s'y "gènent" plus qu'auparavant car disposant d'un espace viaire réduit pour circuler. En considérant les effets environnementaux, le bilan socio-économique des aménagements en faveur des bus est amplement négatif à cause du renchérissement de la mobilité automobile (Prud'homme and Kopp [2008]). La congestion routière et la baisse des vitesses participent par ailleurs à réduire l'accessibilité de la zone centrale parisienne. Les arguments reliant "taille effective du marché du travail" et "sur-productivité" urbaine, tout comme la forte concentration d'emplois dans Paris, laissent donc supposer que la politique municipale ait pu avoir de fâcheuses conséquences indirectes sur l'économie régionale (Costes et al. [2009], Davezies [2007]).

Surtout, il semblerait que la politique (délibérément voulue) de congestion sur les

44. Lors des élections de mars 2008, l'équipe réunie autour de Bertrand Delanoë a rassemblé 55,7% des suffrages.

routes ait engendré une congestion (non prévue) du réseau ferré (Prud'homme et al. [2010]). L'offre de transports publics ferrés n'a en effet pu suivre le même rythme que la demande. Dans le métro parisien, la densité moyenne de passagers a ainsi augmenté de 8% entre 2002 et 2007, sans toutefois que l'indice "qualité service" ne se dégrade et indique que le réseau soit "saturé"⁴⁵. Sur le réseau régional, la hausse de la fréquentation s'est également accompagnée de retards croissants et d'une prévisibilité moindre pour les usagers (Debrincat, Goldberg, Duchateau, Kroes, and Kouwenhoven [2006])⁴⁶. Cette évolution fait craindre que la contrainte de capacité n'y soit bientôt atteinte. A côté de cette dégradation des conditions de déplacement, les "préférences révélées" des nouveaux usagers du vélo, des motos et du tramway (Kopp [2011], Prud'homme, Koning, and Kopp [2011], Conclusion Générale) suggèrent que le confort des déplacements participe bien au choix modal. La plupart des nouveaux usagers de ces modes viennent en effet du métro. Celui-ci a essentiellement vu le confort de ses déplacements se dégrader si on se réfère à l'indice "qualité service"⁴⁷.

Le choix d'utiliser les tramways pour lutter contre les voitures dans Paris peut finalement être sujet à cautions. Bien que ce mode de transport ait connu un net regain d'intérêt aux yeux des élus durant les années 1990, en France comme aux États-Unis ou en Australie, l'analyse académique se montre plus nuancée (Kain [1988], Pickrell [1992], Orfeuill [2008a], Carmona [2001], Hensher [1999], Winston and Maheshri [2007]). Non pas tant en raison des opérations de requalification urbaine qu'il implique et qui permettent le plus souvent d'"embellir" la ville. Les tramways sont plutôt accusés de représenter un investissement initial conséquent, non directement supporté par les collectivités locales en bénéficiant. De plus, leurs études prospectives sont parfois entachées de projections de fréquentation erronées, conduisant à une "flambée des coûts" opérationnels. Si la mise en service du tramway des Marchaux fut actée avant l'arrivée de M. Delanoë à la tête de l'équipe municipale⁴⁸,

45. Cet indice somme différentes dimensions des voyages (dont les retards). Il est utilisé par le régulateur (le STIF) lors des contrats passés avec un opérateur (la RATP notamment).

46. Dûs notamment à des pannes matérielles de plus en plus nombreuses.

47. Dans le cas des vélos, le lien semble qualitativement confirmé, voir la Conclusion Générale.

48. Le projet fut à l'initiative du maire précédent, M. Tibéri, avec un premier accord sur le tracé en mars 2000.

celle-ci a décidé d'étendre la ligne des Maréchaux vers le Nord de la capitale. Dans ce contexte, il apparaît pertinent de s'intéresser au bilan socio-économique du tramway parisien.

D'une manière plus générale, une vaste réflexion s'est intensifiée durant cette période sur les politiques (investissements physiques, fiscalité locale, gouvernance territoriale) nécessaires à la sauvegarde de l'attractivité et de la compétitivité francilienne, i.e. les débats sur le "Grand Paris" (Gilli and Offner [2009], Offner [2007], Bocquet [2009], Davezies [2007], Davezies [2008a], Gilli [2008]). L'observation des trajectoires territoriales a en effet fait craindre à certains que la période récente n'ait été marquée par une "croissance sans développement" de la région et par un "endormissement" de Paris. Dès qu'on s'intéresse à d'autres indicateurs économiques (revenu, flux migratoire, chômage et droits sociaux, inégalités, coût de la vie) que le PIB régional, on constate au début des années 2000 un déclin relatif de l'Ile-de-France (par rapport aux autres régions françaises qui finissent leur phase de "rattrapage"), et de la zone centrale parisienne en particulier (Davezies [2008b], Davezies [2007]). L'agglomération francilienne verrait les "forces de dispersion" s'accroître en son sein, phénomène diminuant l'utilité associée à cette localisation. La congestion des infrastructures de transport en serait une des facettes les plus marquantes, à côté des tensions sur les marchés immobiliers.

Dans la mesure où la "sur-productivité" de l'Ile-de-France occupe une place centrale dans le système de redistribution nationale (Davezies [2008b])⁴⁹, les acteurs publics locaux ont été rejoints par l'État, non sans accroche⁵⁰, dans leurs actions visant à apaiser les "maux" de l'agglomération francilienne. En cela, le projet d'infrastructure

49. En 2006, l'Ile-de-France représentait 29% du PIB national et 22% du revenu. Une partie de cette différence est liée aux départs hors de la région des retraités et des ménages avec enfants, ou encore des choix de consommation des Parisiens qui "fuient" la capitale durant les week-ends. Une autre part est liée au système de péréquation fiscale qui transfère depuis l'Ile-de-France vers les autres régions françaises des ressources permettant d'y financer les emplois publics ou le régime de Sécurité Sociale. Cette "circulation invisible" des richesses souligne la pertinence de l'étude de la "base économique" régionale, i.e. vision "keynésienne" du développement territorial. La "panne" de Paris proviendrait ainsi d'un déficit de consommation (demande effective). Voir Davezies [2008b].

50. Sur les tensions entre développement territorial décentralisé de l'Ile-de-France et enjeux centraux, voir Bocquet [2009].

ferrée porté actuellement par la région et l'État doit être considéré comme un début de réponse. Facilitant les déplacements entre les Couronnes de l'agglomération, la ligne du "Grand Paris" (prévue pour l'horizon 2020) a pour but d'offrir une réelle alternative de report modal aux automobilistes. Elle doit également décongestionner les réseaux de métros parisiens ou de trains régionaux. Ce faisant, cette nouvelle ligne améliorerait le "vécu" des déplacements et permettrait de ne pas hypothéquer les objectifs de la région ou de la ville de Paris en matière de mobilité "durable".

1.4 CONTENU DE LA THÈSE

Ce travail de thèse s'articule autour de trois essais dont nous avons déjà esquissé les contours et les problématiques. S'ils sont tous reliés à l'étude de l'externalité de congestion, ces essais peuvent se lire et se comprendre d'une manière indépendante⁵¹. Une attention particulière est toutefois accordée à la comparaison de leurs résultats. Par ailleurs, les conclusions du troisième essai reposent directement sur les apports des deux précédents.

Chaque essai présente une étude de cas sur une infrastructure de transport primordiale pour la zone centrale parisienne : le boulevard Périphérique, la ligne 1 du métro parisien, le tramway des Maréchaux.

Les questions de recherche qui guident cette thèse présentent une indéniable portée théorique. Il faut toutefois reconnaître que les apports de nos études de cas sont principalement empiriques. Ainsi, nous avons à notre disposition trois bases de données originales. Celles-ci proviennent soit des statistiques de trafic auxquelles l'accès nous a été accordé par la Division de la Voirie et des Déplacements de la Ville de Paris, soit d'enquêtes de terrain menées sur les quais des infrastructures concernées⁵².

51. L'auteur tient à s'excuser auprès des lecteurs pour les quelques redondances entre les essais.

52. Ce travail de thèse n'a reçu aucun financement autre que celui lié aux engagements contractuels de l'auteur avec l'Université Paris 1. Il en est de même des travaux en cours présentés dans la Conclusion Générale.

Cette assise empirique constitue sans nul doute la principale plus-value du travail de thèse. Bien que l'étude de la mobilité en Ile-de-France ou à Paris ait suscité un grand intérêt de la part des chercheurs (Wenglenski [2007], de Palma and Lindsey [2006], Bureau and Glachant [2008], de Lapparent [2005], Korsu and Massot [2006], Delons and Piron [2009], Leurent, Breteau, and Wagner [2009]), très peu de travaux reposent à notre connaissance sur des données détaillant l'utilisation d'infrastructures spécifiques. Nous revenons maintenant sur le contenu des trois chapitres.

1.4.1 CHAPITRE 2 - LA VARIÉTÉ DES COÛTS DE CONGESTION ROUTIÈRE : MISE EN PERSPECTIVE À PARTIR DU BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE PARISIEN

Ce chapitre a pour but de proposer une estimation du coût "économique" de la congestion routière. Nous mobilisons pour cela le cadre d'analyse "statique" et nous étudions le boulevard Périphérique parisien⁵³.

Parfois qualifié "d'autoroute urbaine la plus fréquentée d'Europe", le boulevard Périphérique encercle la municipalité de Paris. Ses (deux fois) 35 kilomètres de voirie assurent l'accessibilité de la zone centrale au mode automobile et autorisent de nombreux déplacements entre les Couronnes de l'Ile-de-France. Cette infrastructure apparaît donc primordiale pour la vitalité de l'agglomération. D'après les données de la Gendarmerie Nationale, le boulevard Périphérique concentrait par ailleurs 29% des encombrements nationaux en 2000 (Union Routière Française [2007]). Il s'agit donc d'un objet d'étude pertinent, notamment dans une perspective comparative (2000 et 2007).

Dans la première section de ce chapitre, nous formalisons le problème soulevé par

53. Ce chapitre a pour support un article rédigé en anglais : *The Social Cost of Road Congestion in France (and Ile-de-France) : Evidences from the Paris Ring-Road (2010)*. Cet article a été soumis à la revue *Urban Studies*, nous essayons actuellement d'apporter les révisions souhaitées par les deux rapporteurs. Cet article a par ailleurs fait l'objet de présentations dans diverses conférences telles que les *Journées d'Economie Publique Louis-André Gérard-Varet (Marseille, 2010)*, les *Journées de Microéconomie Appliquée (Dijon, 2010)* ou encore la *Khumo Nectar Conference in Transportaion Economics (Valence, 2010)*.

l'externalité de congestion. Suit alors une illustration graphique permettant d'introduire les visions concurrentes au sein du cadre d'analyse "statique" pour estimer le coût de cette "défaillance de marché". La seconde section revient sur les limites inhérentes à l'approche "pigouvienne", notamment l'usage du flux de véhicules comme unité de mesure de la demande. Afin de contre-carrer certaines de ces limites, nous reprenons le modèle de Prud'homme and Sun [2000]. Celui-ci repose sur une relation vitesse-densité, i.e. relation décrivant la "technologie" de la route. Il permet de décomposer l'unique équilibre du cadre "statique" en une multitude de "sous-équilibres", chacun associé à des niveaux d'utilisation (et donc des "coûts généralisés") différents. Ce modèle doit une grande part de son applicabilité à la base de données sur le trafic du boulevard Périphérique que nous présentons dans la troisième section. Nous pouvons alors estimer le coût "économique" de la congestion sur le boulevard Périphérique et détailler son évolution entre 2000 et 2007. Nous testons également la sensibilité des résultats en faisant varier des paramètres clés tels que la relation vitesse-densité (selon l'échelle géographique) ou la valeur du temps (selon l'échelle temporelle). Nous ponctuons ce travail par les implications de politiques publiques. Ainsi, nous discutons les modalités de mise en oeuvre d'un "péage de congestion" sur le boulevard Périphérique puis extrapolons les résultats à l'échelle nationale. Ce faisant, nous monétarisons les différences de définition de la congestion routière au sein du cadre d'analyse "statique".

1.4.2 CHAPITRE 3 - AVOIR LES COUDES SERRÉS DANS LE MÉTRO PARISIEN : ÉTUDE DU GOÛT POUR LE CONFORT DES DÉPLACEMENTS

Ce chapitre aborde la thématique de la congestion dans les métros. Nous analysons pour cela les "préférences déclarées" des usagers de la ligne 1 du métro parisien et nous proposons une valorisation du confort des déplacements⁵⁴.

54. Ce chapitre est le fruit d'une collaboration avec Luke Haywood. Il a pour support un article rédigé en anglais : *Pushy Parisian Elbows : Evidence on Taste for Comfort in Travel* (2010). Cet article a été présenté notamment durant la conférence de la *European Regional Science Association* (Barcelone, 2011), les *Journées de l'Association Française de Sciences Economiques* (Nanterre, 2011) ou encore la conférence de l'*IETA* (Stockholm, 2011).

Première ligne historiquement mise en service, la ligne 1 est celle qui accueille aujourd'hui le plus de voyageurs sur l'ensemble du réseau de métros parisiens. Elle dessert en effet les principaux centres économiques (La Défense) et touristiques (le Louvre, Chatelet) de la "ville lumière". En raison, entre autres, d'un déséquilibre croissant entre zones d'emplois et de résidence au sein de l'agglomération (Pinçon and Pinçon-Charlot [2008]), la ligne 1 a connu une forte hausse de sa fréquentation entre 2000 et 2007 (+25%, RATP statistiques internes). Ces arguments font de la valorisation du confort des déplacements réalisés en son sein un sujet d'intérêt.

Dans la première section de ce chapitre, nous proposons un modèle intégrant le confort des déplacements aux déterminants du choix modal. Ceci nous permet de montrer qu'une hausse de la congestion dans les métros (suite à une politique "anti-voiture" par exemple) diminue le report modal. La seconde section présente la méthodologie d'évaluation contingente comme outil permettant de valoriser le confort des déplacements. La troisième section présente alors l'enquête de terrain menée sur les quais de la ligne 1 auprès de 680 voyageurs⁵⁵. La stratégie d'identification repose sur un "arbitrage entre temps et confort" proposé aux usagers de la ligne 1. Dans la quatrième section, nous revenons sur la stratégie empirique (formalisation de l'utilité et méthode économétrique) retenue pour étudier les réponses individuelles. Finalement, la cinquième section traite des implications de politiques publiques. Après avoir valorisé les gains de bien-être issus d'un confort supérieur dans le métro parisien, nous proposons un paramètre - l'effet externe de congestion dans les métros - qui présente de grands avantages dans une optique évaluative. Nous en donnons quelques exemples à l'aide de changements modaux intervenus récemment dans la mobilité parisienne.

55. Cette base de données a fait l'objet d'une autre application dans Prud'homme et al. [2010].

1.4.3 CHAPITRE 4 - LE REMPLACEMENT D'UN BUS PAR UN TRAMWAY À PARIS : COÛTS ET BÉNÉFICES

Ce chapitre présente l'analyse coûts-bénéfices de la ligne de tramway ouverte sur le boulevard des Maréchaux en décembre 2006⁵⁶. Cet exercice semble être une bonne illustration de l'incidence que peut avoir une vue partielle du phénomène de congestion sur l'évaluation des politiques publiques.

L'étude prospective (Franc, Ferry-Wilczek, and Huot [2003]) ayant validé le retour du tramway dans Paris étant délibérément occultée du quatrième chapitre, nous apportons ici quelques éléments d'éclairage. L'analyse coûts-bénéfices ex ante aboutissait à une Valeur Actualisée Nette de 420 M euros (sur un horizon de 30 ans et calculée avec un taux d'actualisation de 4%), faisant du tramway un investissement très rentable du point de vue socio-économique. Les projections tablaient sur une fréquentation quotidienne de 100000 voyageurs, dont un report modal depuis la voiture de 6%. Les gains de temps ont été valorisés à 30 M euros, les économies externes de CO2 et de décongestion routière à 16 M euros.

La première section de notre étude ex post présente l'aire géographique (8 kilomètres sur le boulevard des Maréchaux entre Porte d'Ivry et Pont-du-Garigliano) ainsi que les caractéristiques du projet tramway. A l'aide de données de trafic automobile et d'une enquête de terrain menée auprès de 1000 usagers du tramway, nous décrivons ensuite l'impact de l'infrastructure sur la répartition intra-modale et inter-modale des déplacements dans cette zone. Nous opérons alors aux calculs des variations de bien-être des voyageurs, que ce soit pour les utilisateurs du tramway ou pour les automobilistes utilisant toujours (ou croisant) le boulevard des Maréchaux. A ces variations de surplus, nous intégrons les effets externes du projet. Ils sont constitués de la probable congestion additionnelle sur le boulevard Périphérique adjacent, de la décon-

56. Ce chapitre est le fruit d'une collaboration avec Rémy Prud'homme et Pierre Kopp. Il a donné lieu à une publication dans *Transport Policy* (2011) (voir Références). Il a également fait l'objet de présentations, durant le congrès annuel de la *European Economic Association* (Glasgow, 2010) ou la *Conference on Applied Infrastructure Research* (Berlin, 2009) notamment.

gestion du métro parisien et des changements dans les émissions de CO₂. Concernant cette dernière dimension, une attention particulière est accordée à la relation entre vitesse de circulation et émissions de CO₂. La cinquième section aborde les données financières et calcule la Valeur Actualisée Nette du tramway des Maréchaux. Au regard des résultats, nous discutons finalement de la pertinence des tramways comme infrastructures de transport dans Paris.

A la suite de ces trois chapitres, la Conclusion Générale répond aux questions guidant ce travail de thèse : Quel est le coût de la congestion routière dans un cadre d'analyse "statique" ? L'externalité de congestion est-elle coûteuse dans les métros ? Comment une vue partielle de l'externalité de congestion modifie-t-elle l'évaluation des politiques publiques ? Quelle est l'évolution de la congestion dans les transports à Paris depuis le début des années 2000 ? La Conclusion Générale discute ensuite notre réponse à cette dernière question et aborde la dynamique territoriale récente de la zone centrale parisienne. Nous présentons finalement les travaux en cours. Ceux-ci prolongent, plus ou moins directement, la présente étude de la congestion dans les transports à Paris.

La variété des coûts de congestion routière : mise en perspective à partir du boulevard Périphérique parisien

2.1 INTRODUCTION

Les externalités occupent une place prépondérante dans la dynamique de concentration territoriale des hommes et des activités économiques (Maurel and Puig [2004], Glaeser [2007], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). La proximité spatiale qu'incarne la ville autorise en effet diverses "interactions hors-marché" bénéfiques pour les ménages et les entreprises. Des mécanismes de "learning, sharing and matching" (Duranton and Puga [2003]) les rendent ainsi plus productifs, ce qui permet d'accroître leur utilité ou leur profit et renforce l'attractivité de la ville. Caractérisés par une relation positive entre densité et "sur-productivité" urbaine (Ciccone and Hall [1996], Prud'homme and Lee [1999], Rousseau [1998], Glaeser [2008]), les gains à l'agglomération ne sont toutefois pas infinis. Des "forces centrifuges" entrent en jeu et participent à définir la taille optimale des villes, i.e. telle que l'écart entre les bénéfices et les coûts sociaux soit maximal (Prud'homme and Lee [1999], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). De nos jours, la congestion routière est souvent présentée

comme une des plus néfastes externalités urbaines (Quinet and Vickerman [2004], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009], Glaeser [2008], Fujita [1989]).

Si la mobilité automobile a facilité l'étalement urbain en réduisant le "coût généralisé" des déplacements et en autorisant une plus grande consommation d'espace résidentiel pour les ménages (Crozet [2005], Glaeser and Kahn [2003], Brueckner [2000], Cavailhès [2004]), les capacités finies des infrastructures conjuguées à l'attractivité de certains territoires peuvent être la source d'une importante désutilité. Parce qu'il ne supporte pas l'intégralité du coût de sa décision¹, un automobiliste empruntant une route congestionnée réduit ainsi le bien-être d'un grand nombre d'individus. Cette baisse du bien-être provient essentiellement du temps perdu par les autres automobilistes présents sur la route, lorsque l'excès de véhicules diminue la vitesse de circulation de tous (Small and Verhoef [2007], Quinet and Vickerman [2004]). Une autre part est infligée aux résidents des zones où apparaît la congestion, via les pollutions environnementales (locales ou globales), sonores et visuelles émises (Perbet [2004]). "Rançon du succès urbain", cette externalité se traduit par un renchérissement de la mobilité individuelle et par la détérioration des aménités environnementales. Elle nécessite donc une "correction". Les péages urbains, tels que mis en place à Singapour, Londres ou Stockholm (Santos and Bharkarb [2006], Eliasson [2009], Prud'homme and Kopp [2010b]), constituent dans cette optique l'instrument privilégié par les économistes (Lindsey [2006], Tsekeris and Voss [2009]). Ils incitent en effet les automobilistes à "internaliser" les externalités de congestion qu'ils infligent aux autres voyageurs.

Cet essai propose une estimation du coût "économique" de la congestion routière, ce coût étant compris comme les pertes de temps issues de la sur-utilisation d'une infrastructure par rapport à un niveau optimal (Prud'homme and Sun [2000], Small and Verhoef [2007]). La composante environnementale est laissée au second plan de l'analyse.

1. La "sur" ou "sous-tarification" des voitures est variable selon les pays (Parry and Small [2005]). En France, les recettes issues des taxes et péages dépassent le coût social des voitures (Prud'homme and Kopp [2010a]).

L'apport de ce travail est principalement empirique puisqu'il présente une étude de cas sur le boulevard Périphérique parisien. Cette autoroute urbaine occupe une place primordiale dans le réseau de transports d'une des plus riches agglomérations au monde (Davezies [2008b], Gilli and Offner [2009], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). Il s'agit donc d'un objet d'étude pertinent. Surtout, nous disposons d'une base de données détaillant finement son utilisation en 2000 et 2007. Les préoccupations théoriques ne sont toutefois pas occultées de ce travail. Malgré son statut de "mal" urbain de premier ordre, il est en effet frappant de constater une grande pluralité d'opinions sur le coût généré par l'externalité de congestion routière (de Palma and Zaouali [2007], VTPI [2009], Orfeuil [2008a], Parry et al. [2007]). Comme la définition d'un phénomène en conditionne la mesure, cette diversité peut sembler problématique. Les enjeux liés à l'introduction d'un péage ne seront pas les mêmes selon que la perte sociale ait été estimée à 2% ou 0,1% du PIB. Notre étude de cas sur le boulevard Périphérique permet alors d'illustrer numériquement l'étendue des divergences.

Tous les débats théoriques ne seront pas discutés ici. Cet essai reprend le modèle de Prud'homme and Sun [2000] qui s'inspire du cadre d'analyse "statique" de la congestion routière (Verhoef [1999], Evans [1992], Walters [1961], de Palma and Fosgerau [2010]). On dénombre au moins trois visions concurrentes au sein de cette approche théorique pour définir le coût de la congestion. Initié avec les travaux Pigou [1920], le cadre "statique" aborde l'utilisation des infrastructures dans une perspective d'"équilibre partiel". Le niveau d'utilisation de la route et la vitesse de circulation d'équilibre sont supposés uniques. Bien qu'elle constitue l'approche standard de la congestion routière, cette unicité de l'équilibre est source de débats (Verhoef [1999], Small and Verhoef [2007]), la dimension temporelle en étant "de facto" occultée. La congestion est pourtant un phénomène hautement variable dans le temps et dans l'espace. C'est essentiellement durant les heures de pointes, lorsqu'un grand nombre d'automobilistes partagent le même horaire d'arrivée à destination, qu'une infrastructure ne peut répondre à la demande sans trop dégrader la qualité du service offert, i.e.

la vitesse. Se focalisant sur l'évolution de la congestion au gré des apprentissages de conducteurs confrontés quotidiennement à des "goulots d'étranglement", l'approche "dynamique" (Vickrey [1969a], Arnott et al. [1990], de Palma and Fosgerau [2010]) complète en cela celle "statique"².

Le modèle de Prud'homme and Sun [2000] pourrait constituer une voie intermédiaire pour monétariser les pertes de temps dues à une utilisation inefficace d'une infrastructure. Observant une grande hétérogénéité des vitesses de circulation sur le boulevard Périphérique, cette approche propose une estimation fine du coût de la congestion routière. Elle décompose ainsi l'unique équilibre du cadre "statique" en divers "sous-équilibres", chacun correspondant à des niveaux d'utilisation différents, i.e. la demande est désagrégée. Outre cet intérêt empirique et comparatif, étudier le coût de la congestion pour une infrastructure comme le boulevard Périphérique est informatif à de multiples égards.

Si la croissance de la mobilité automobile observée depuis plus de vingt ans en Ile-de-France est imputable à celle des déplacements motorisés dans les Petite et Grande Couronnes de l'agglomération (Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002]), le boulevard Périphérique concentrait 29% des embouteillages enregistrés en France par la Gendarmerie Nationale en 2000 (Union Routière Française [2007])³. Parfois qualifié "d'autoroute urbaine la plus fréquentée d'Europe", il s'agit donc d'un bon "benchmark". Étant donnés les liens entre circulation automobile "dans" et "au-

2. L'approche "dynamique" de la congestion routière repose sur le concept d'"équilibre de Nash", i.e. tel que les individus n'ont plus intérêt à modifier leurs comportements étant données les réactions stratégiques des autres individus. L'intérêt de cette approche ne réside pas tant dans l'analyse des pertes de temps sur l'infrastructure, mais plutôt de celles liées au franchissement du "goulot d'étranglement", i.e. pour accéder à l'infrastructure. Le coût individuel est ainsi composé du coût temporel des déplacements mais également de "scheduling costs", i.e. coûts associés à des départs en avance et à des arrivées tardives. Les individus arbitrent entre ces deux composantes afin de franchir le "goulot d'étranglement" et d'arriver à destination pour l'heure souhaitée (voir Vickrey [1969a], Arnott et al. [1990], de Palma and Fosgerau [2010], de Palma and Zaouali [2007]).

3. La région Ile-de-France comptait pour 89% des embouteillages nationaux en 2000 (Union Routière Française [2007]). Elle est ainsi la région française qui souffre le plus de la "dépendance à l'égard de l'automobile" (Dupuy [2006]). Il est important de préciser que les données de la Gendarmerie Nationale occultent la congestion routière en milieu urbain. En effet, sont considérées comme "encombrements" les heures conduites sous 30 km/h.

tour de" Paris, il est par ailleurs intéressant de regarder comment ont évolué les pertes de temps sur le boulevard Périphérique entre 2000 et 2007. Malgré une importante baisse de l'usage des voitures dans la capitale (-24%, Kopp [2011]), les pertes de bien-être ont en effet augmenté dans les rues parisiennes sur cette période (Prud'homme and Kopp [2008])⁴. Finalement, le boulevard Périphérique constituerait vraisemblablement un maillon central du réseau tarifé si un péage de congestion venait à être introduit en Ile-de-France. Bien que diverses études ont abordé la tarification des routes dans l'agglomération parisienne (de Palma and Lindsey [2006], Bureau and Glachant [2008]), aucune ne porte à notre connaissance sur une infrastructure particulière⁵.

Le reste de cet essai est organisé comme suit. Dans la section (2.2), nous formalisons l'approche "statique" de la congestion routière. à l'aide d'une illustration graphique, nous présentons alors les débats sur le coût généré par cette externalité. La section (2.3) revient ensuite sur les limites inhérentes à ce cadre d'analyse. Elle décrit également le modèle de Prud'homme and Sun [2000] qui sert de support à nos calculs et qui permet de dépasser certaines de ces limites. Dans la section (2.4), nous présentons la base de données sur l'utilisation du boulevard Périphérique. Nous illustrons ainsi l'importance de cette infrastructure pour l'agglomération parisienne et discutons l'évolution de son utilisation entre 2000 et 2007. Nous détaillons également les paramètres utilisés afin d'estimer le coût "économique" de la congestion routière. La section (2.5) présente et commente les résultats. Nous conduisons également des tests de sensibilité en regardant "quand" et "où" la congestion est-elle plus coûteuse sur le boulevard Périphérique? A l'aide de ces estimations, la section (2.6) déduit des implications de politiques publiques. Après avoir discuté la valeur du coût marginal de congestion, nous proposons une grille de tarification optimale pour le boulevard

4. En raison d'une politique de "régulation par les quantités" lancée en 2001, i.e. réduction de 25% de l'espace viaire disponible pour les automobilistes, la vitesse de circulation dans Paris à en effet baissé de plus de 10% sur la même période. S'en est suivie une importante baisse du nombre de kilomètres parcourus dans la capitale, sans pour autant que les pertes de temps supportées par les automobilistes n'aient été réduites.

5. A part celle de Prud'homme and Sun [2000] sur le boulevard Périphérique que nous réactualisons et complétons.

Périphérique. Nous rapportons finalement le coût de la congestion routière à des indicateurs de richesse nationale et régionale. Ce faisant, nous illustrons l'ampleur monétaire des débats sur le coût de la congestion au sein du cadre d'analyse "statique". La section (2.7) conclue.

2.2 L'ANALYSE "STATIQUE" DE LA CONGESTION ROUTIÈRE

2.2.1 FORMALISATION DU PROBLÈME

Considérons une route dont l'utilisation, dénotée pour le moment x , est décrite par la fonction de demande inverse $d(x)$. Cette fonction représente le bénéfice marginal que retire un voyageur représentatif de l'utilisation de la route (pour une paire origine-destination et un revenu donnés). Le bénéfice marginal est décroissant avec la quantité d'utilisation :

$$d(x) = b + a \times x \tag{2.1}$$

où b représente le prix d'utilisation de la route qui annule la demande. Le coefficient a (< 0) décrit la sensibilité de la demande face aux variations de prix. Il peut s'exprimer en fonction de l'élasticité prix de la demande ϵ (voir la section (2.3)).

Emprunter la route présente un coût privé $I(x)$, i.e. celui sur lequel l'automobiliste base sa décision. Ce coût est dit "généralisé" car sommant une composante monétaire c_0 liée à l'utilisation du véhicule (essence, assurance, achat du véhicule) et une composante variable liée au temps de déplacement (Quinet and Vickerman [2004], Small and Verhoef [2007]). Cette dernière composante est fonction inverse de la vitesse de circulation sur la route $v(x)$ (exprimée en km/h) et dépend positivement du coût d'opportunité du temps de déplacement w :

$$I(x) = c_0 + \frac{w}{v(x)} \tag{2.2}$$

L'utilisation d'équilibre de la route x_0 s'obtient lorsque le dernier automobiliste entrant sur la route égalise son bénéfice marginal au "prix généralisé" p_0 de son déplacement, lui même égal à la somme de $I(x_0)$ et d'un péage t dans le cas où il est levé :

$$d(x_0) = I(x_0) + t = p_0 \quad (2.3)$$

Pour savoir si cet équilibre est optimal, il convient de le comparer avec celui qui résulterait de la maximisation du bien-être social W , différence entre les bénéfices agrégés liés à l'utilisation de la route B et les coûts totaux C , i.e. $W = B - C$. Les bénéfices agrégés peuvent être décrits par le surplus des automobilistes au niveau d'utilisation x :

$$B = \int_0^x d(x) dx \quad (2.4)$$

Les coûts totaux correspondent à la somme du coût annualisé de fonctionnement de la route K (en prenant en compte l'amortissement ρ)⁶ et de l'ensemble des "coûts généralisés" supportés par les automobilistes :

$$C = x \times I(x) + K \times \rho \quad (2.5)$$

La maximisation de W par rapport à x aboutit à la condition de première ordre suivante :

$$\frac{\partial W}{\partial x} = d(x) - I(x) - x \times \frac{\partial I}{\partial x} = 0 \quad (2.6)$$

Le "prix généralisé" optimal p_1 et le niveau d'utilisation x_1 correspondant doivent donc satisfaire :

$$p_1 = I(x_1) + x_1 \times \frac{\partial I}{\partial x} = S(x_1) = I(x_1) + Ext(x_1) \quad (2.7)$$

Dans une configuration sans péage ($t = 0$), on constate que p_1 diffère de p_0 . Il en est donc de même de x_1 et de x_0 . Afin de maximiser le bien-être collectif, l'automobiliste

6. L'approche adoptée ici est de court-terme. Dans une optique de long-terme, les capacités d'accueil de la route sont endogènes (Small and Verhoef [2007]).

devrait ainsi prendre en compte non pas $I(x)$, mais le coût social de sa décision $S(x)$. Le coût social incorpore le coût marginal de congestion routière ($Ext(x) = x \times \frac{\partial I}{\partial x}$) : la perte de temps générée par un véhicule arrivant sur la route et réduisant la vitesse de tous les automobilistes qui empruntent cette route. Cette "externalité technologique" s'explique par l'évolution de la vitesse de circulation. L'offre de route étant caractérisée par une capacité d'accueil fixe, la vitesse diminue lorsque la demande x augmente ($\frac{\partial v}{\partial x} < 0$, voir la section (2.3)). De là découlent la différence entre coûts privé et social ($S(x) > I(x)$ car $x \times \frac{\partial I}{\partial x} > 0$) ainsi que l'usage inefficent des infrastructures routière ($x_1 < x_0$).

Il est possible de forcer les automobilistes à "internaliser" cet effet externe. Il faut pour cela appliquer le péage optimal de congestion t , usuellement qualifié de "pigouvien" :

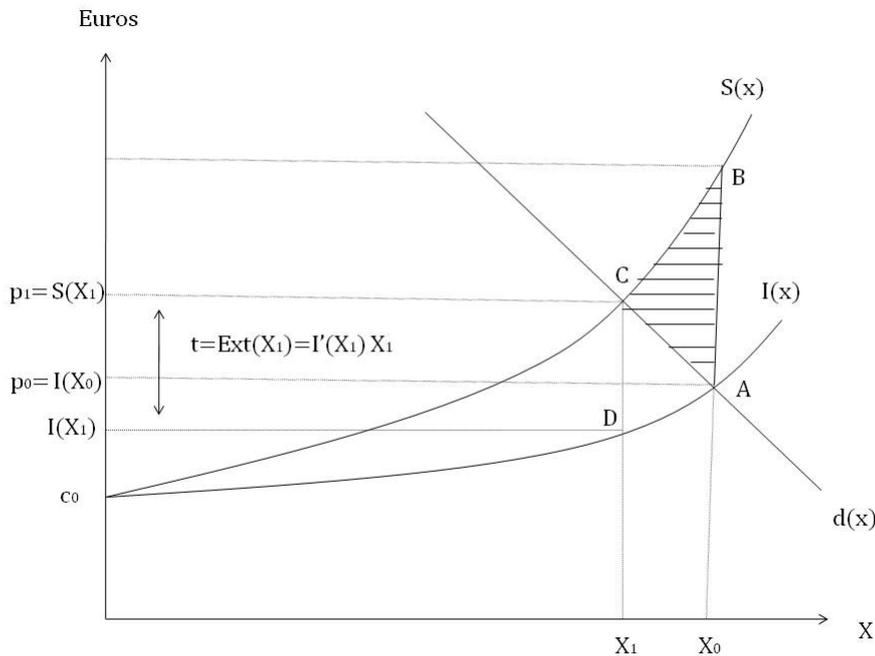
$$t = S(x_1) - I(x_1) = x_1 \times \frac{\partial I}{\partial x} = Ext(x_1) \quad (2.8)$$

Le péage doit être égal au coût marginal d'un véhicule pour le niveau optimal d'utilisation x_1 (Small and Verhoef [2007]). Les fonctions de coûts privé et social étant croissantes, ce péage optimal est inférieur au coût marginal d'un véhicule pour l'usage x_0 ($t = Ext(x_1) < Ext(x_0)$).

2.2.2 PRÉSENTATION GRAPHIQUE

La figure (2.1) permet d'illustrer graphiquement nos propos. Elle présente également les débats sur la définition et la mesure du coût de la congestion routière au sein des modèles "statiques".

L'équilibre effectif est atteint en A (x_0, p_0), intersection de $d(x)$ et de $I(x)$. L'équilibre optimal est en C (x_1, p_1), en considérant la fonction $S(x)$. Sans péage, il y a donc $x_0 - x_1$ véhicules "en trop" sur la route. Au delà de x_1 , le coût social marginal d'un véhicule arrivant sur la route est supérieur au bénéfice social additionnel. Au niveau x_0 , ce



Graphique 2.1 – Utilisations d'équilibre et optimale de la route

véhicule additionnel inflige le coût marginal $Ext(x_0) = BA$. Pour réduire cette inefficience, il faudrait introduire le péage optimal de congestion $t = Ext(x_1) = CD$. Cet instrument d'intervention fait consensus chez les économistes (Lindsey [2006], Tsekeris and Voss [2009]). Il est préférable à une extension des capacités d'accueil ne faisant que décaler dans le temps le problème⁷. En raison de la nature "statique" de l'analyse, la moindre utilisation de la route ($x_0 - x_1$) résultant de l'introduction du péage n'est valable qu'à court terme. Elle néglige en effet le trafic "induit" par l'amélioration des vitesses faisant suite à la baisse de la circulation (Cervero and Hansen [2002], Duranton and Turner [2009])⁸.

Quel est le coût pour la société des automobiles "en trop" ? Sur ce point, trois principales visions doivent être distinguées au sein de l'analyse "statique" (Prud'homme

7. Sur la figure (2.1), des capacités d'accueil supérieures correspondent à une translation vers la droite de la fonction de coût privé. Le gap entre quantités d'utilisation effective et optimale est toujours positif.

8. Ce trafic "induit" explique également la "loi de Downs". Celle-ci limite la portée d'une politique de "régulation par les quantités". Augmenter l'offre de route attire plus d'automobilistes et ne réduit en aucun cas la congestion routière (Cervero and Hansen [2002], Duranton and Turner [2009]).

and Sun [2000], Small and Verhoef [2007]) :

1. On dénombre tout d'abord celle reposant sur le "coût total de la congestion routière", i.e. la surface $(p_0 - c_0) \times x_0$ sur la figure (2.1). Cette définition de la congestion routière prend comme référence c_0 , le coût monétaire d'utilisation des véhicules, i.e. lorsque la vitesse est maximale (Bouladon [1991]). Elle considère donc que le "bon" usage de la route est celui correspondant à une "route vide" et ignore du raisonnement la demande. Nous la dénommerons "l'approche naïve".
2. Une seconde vision - à laquelle adhère cet essai - défend un ancrage plus économique de l'analyse (Prud'homme and Sun [2000], Evans [1992], Walters [1961], Newbery and Santos [2002]). Reconnaisant un usage inefficace des infrastructures en raison de l'"externalité technologique" (x_0 et x_1 diffèrent dès que $Ext(x) > 0$), elle définit le coût de la congestion routière comme la variation de bien-être des consommateurs due à une utilisation sous-optimale de la route, i.e. considérer $I(x)$ au lieu de $S(x)$. Cette perte de bien-être correspond à la surface $(p_0 - I(x_1)) \times x_1 - (p_1 - p_0) \times (x_0 - x_1)/2$. Elle est par identité égale au "Triangle d'Haberger" (surface hachurée ABC). Par ailleurs, elle est inférieure à celle proposée par l'approche "naïve". Nous ferons référence à cette vision de la congestion routière comme celle "économique".
3. Finalement, l'approche "internalisante" (Newbery [1990]) approxime le coût de la congestion par le produit du péage qu'il faudrait appliquer afin obtenir l'usage optimal de la route x_1 , i.e. la surface $(x_1 \times (p_1 - I(x_1)))^9$. Pour reprendre Prud'homme and Sun [2000] : "La situation de référence est correcte, mais l'on confond le moyen (la taxe internalisante) avec la fin (l'internalisation du coût externe). Il n'y a aucune raison de penser que l'un soit égal à l'autre. On peut même montrer que l'un (la taxe) est bien plus important que l'autre (l'externalité)".

Cette dernière observation souligne l'intérêt des travaux sur les effets redistributifs

9. Une variante de cette définition du coût de la congestion routière prend l'utilisation effective x_0 pour référence, i.e. la surface $x_0 \times Ext(x_0)$.

des péages (Rothengatter [2003], Bureau and Glachant [2008]). La taxation optimale des routes est une politique publique visant l'efficacité allocative, i.e. l'allocation des ressources permettant de maximiser le bien-être de la société. Cet objectif n'implique pas nécessairement que tous les individus gagnent à l'introduction de la "régulation par les prix" sur les routes. La surface $(p_0 - I(x_1)) \times x_1 - (p_1 - p_0) \times (x_0 - x_1)/2$ représente ainsi la différence entre les coûts sauvés pour ceux qui restent sur la route et les bénéfices individuels supprimés pour les automobilistes évincés une fois atteint l'optimum x_1 . La puissance publique doit s'assurer que le recyclage des revenus de la taxe, quelle qu'en soit la forme (investissements et subventions pour les transports publics, baisse d'impôts), compense les pertes de bien-être de cette dernière catégorie de voyageurs (Rothengatter [2003], Small [1992], de Palma, Lindsey, and Proost [2007]). Cette dimension semble cruciale si les décideurs veulent faciliter l'"acceptabilité" politique du péage (Giuliano [1992], Raux and Souche [2004])¹⁰. Même s'ils ne feront qu'effleurer la question, les calculs de la section (2.6) donneront un aperçu des enjeux.

On constate donc que les positions sur le coût de la congestion routière divergent grandement au sein du cadre d'analyse "statique". S'inspirant de celui-ci, le modèle de Prud'homme et Sun permettra d'illustrer l'ampleur monétarisée de cette diversité d'opinions. Avant d'en décrire les spécificités, il est utile de revenir sur un problème inhérent à l'approche "statique". La mesure retenue pour décrire x , i.e. la demande de route, peut en effet biaiser l'analyse qu'ont les économistes du coût de la congestion routière.

10. L'hypothèse d'agent représentatif est sur ce point contestable car l'identification pertinente des "gagnants" et des "perdants" à l'introduction d'un péage nécessite une différenciation des valeurs du temps. En effet, ceux qui paient le péage "révèlent" une valeur du temps supérieure.

2.3 PROBLÈMES LIÉS À L'APPROCHE "STATIQUE" ET STRATÉGIE ADOPTÉE POUR Y REMÉDIER

2.3.1 DENSITÉ OU FLUX DE VÉHICULES ?

La mesure de la demande devient cruciale dès qu'est abordée "la technologie de la route". Deux relations ont été proposées par les ingénieurs afin de décrire l'interaction entre les contraintes physiques d'une infrastructure et les comportements des conducteurs l'empruntant : les relations vitesse-densité et vitesse-flux (Quinet and Vickerman [2004], Small and Verhoef [2007]). La densité q (exprimée en veh/km) représente le nombre de véhicules simultanément présents sur un kilomètre de route. Le flux F (exprimé en veh/h) décrit le nombre de véhicules passant un certain point de la route durant une unité de temps. Ces deux mesures de la demande de route sont reliées à la vitesse v par l'identité suivante :

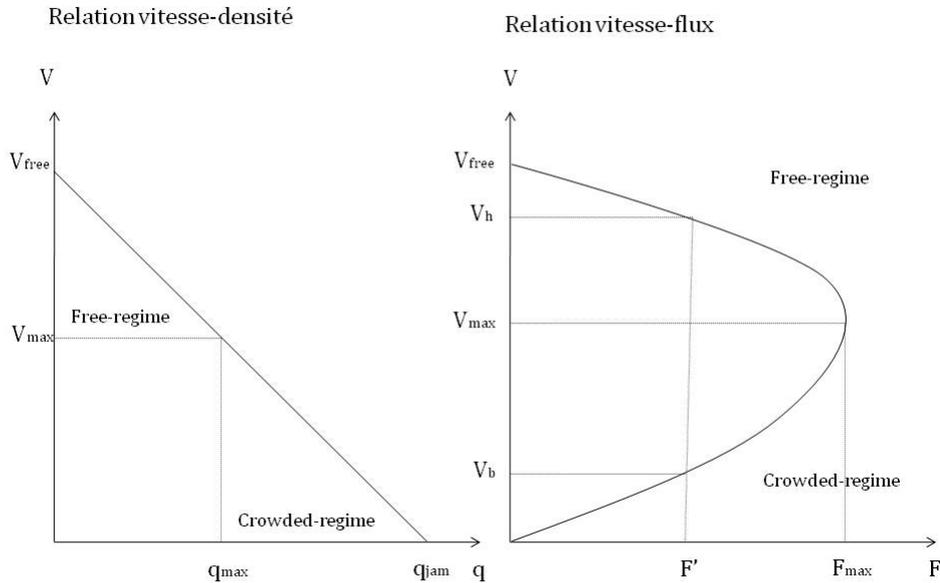
$$F = v \times q \quad (2.9)$$

La figure (2.2) présente deux versions de ces "relations technologiques", en retenant une forme linéaire pour la relation vitesse-densité :

$$v = v_{free} + c \times q \quad (2.10)$$

Lorsqu'il n'y a aucun véhicule sur la route, la densité est nulle et l'offre est associée à une qualité de service élevée V_{free} , i.e. la vitesse prise comme référence par l'approche "naïve". Cette mesure de la demande est donc univoque : plus la densité q est importante et plus la vitesse de circulation v diminue ($\frac{\partial v}{\partial q} = c < 0$). Pour un niveau q_{jam} , elle devient même nulle. La fonction de coût privé $I(x)$ étant inversement reliée à $v(x)$, on retrouve la configuration décrite par la figure (2.1).

C'est néanmoins le flux F qui est le plus souvent considéré comme la "bonne" unité de mesure de la demande dans l'analyse "statique" (Verhoef [1999]). En effet :



Graphique 2.2 – Représentation de la technologie de la route

1. Contrairement à la densité, le flux comprend explicitement une dimension temporelle, base de la perte de surplus des automobilistes. Afin de mesurer des coûts de congestion routière avec la densité, il faut nécessairement définir une période de temps (et donc transformer l'indicateur de stock en flux).
2. Retenir la densité comme indicateur de la demande pose ensuite un problème conceptuel. Ce choix revient à supposer que ce que les individus désirent, c'est "être" sur la route, et non "utiliser la route pour relier deux localisations".
3. Finalement, la densité de véhicules peut être vue comme une variable endogène car étant le fruit d'un arbitrage individuel entre désir de vitesse et "désir de sécurité"¹¹.

Ces arguments militent donc en faveur d'une demande de route reposant sur un indicateur de flux de véhicules. La figure (2.2) illustre toutefois la faille découlant d'une telle pratique. La relation vitesse-flux associée à un même niveau d'utilisation de la

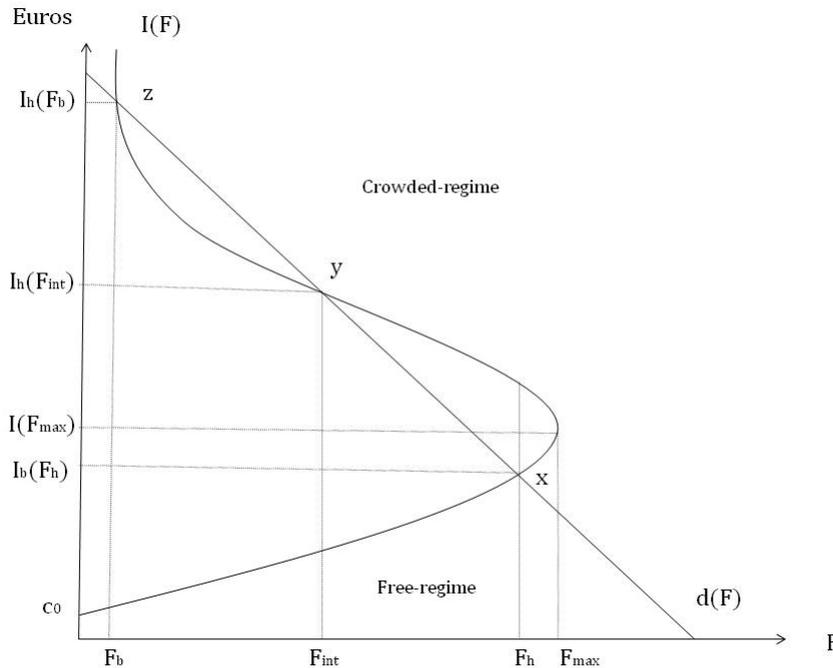
11. Une hausse de la densité peut ainsi résulter de l'arrivée de véhicules, i.e. le flux F , sur une route caractérisée par une vitesse de circulation v (voir l'équation (2.10)), faisant ralentir les automobilistes pour limiter les risques d'accidents.

route F' deux qualités de service différentes : une vitesse élevée (v_h) et une basse (v_b). La courbe vitesse-flux décrit ainsi deux "régimes d'utilisation" de la route (Small and Verhoef [2007], de Palma and Zaouali [2007]). La partie supérieure de la courbe représente le "free-regime". Dans cette situation, la route n'est pas utilisée d'une manière trop intensive et l'arrivée de nouveaux automobilistes, i.e. une hausse du flux, ne diminue que modérément la vitesse. Une fois la vitesse v_{max} atteinte, le flux de véhicules souhaitant accéder à l'infrastructure dépasse sa capacité d'accueil (F_{max})¹². Celle-ci tombe alors dans le "crowded-regime". L'arrivée de nouveaux véhicules fait augmenter la densité, baisser la vitesse de circulation et rend finalement le flux égale à zéro. Contrairement à celle liant vitesse et densité, la relation vitesse-flux est donc non monotone¹³.

La figure (2.3) transpose la relation vitesse-flux dans la fonction de coût privé $I(F)$. Par soucis de clarté, nous avons omis de la représentation la fonction de coût social $S(F)$. En raison du retournement de la fonction de coût privé, la juxtaposition avec la demande inverse $d(F)$ aboutit à trois équilibres possibles : un correspond au "free-regime" de l'infrastructure (x), les deux autres (z et y) se situent dans le "crowded-regime". Cette multiplicité des équilibres est problématique pour l'analyse "statique" de la congestion routière qui s'intéresse aux "états stationnaires" d'utilisation des infrastructures. Pour reprendre le langage de la figure (2.1), l'équilibre A est associé à une quantité d'utilisation (et donc une vitesse de circulation) constante sur l'ensemble de l'infrastructure. Cet état, pour lequel le temps ne compte plus, implique notamment que le flux "entrant sur" correspond au flux "sortant de" et à celui "sur la route", et ce en tout point de l'infrastructure. Si survient un choc d'utilisation (ou de "prix généralisé"), des forces de rappel inscrites dans la position respective et les pentes des fonctions de coût et de demande incitent les automobilistes à corriger leurs choix : A est l'unique équilibre possible.

12. La vitesse et le flux maximaux sont parfois retenus comme le point de référence lors du calcul des coûts de congestion routière.

13. Lorsque la vitesse de circulation sur la route est sous v_{max} , on observe que $\frac{\partial v}{\partial f} > 0$.



Graphique 2.3 – Transposition de la relation vitesse-flux à l'analyse "pigouvienne"

Concernant la figure (2.3), il ressort de l'analyse de stabilité que seul le point x , i.e. celui dans le "free-regime", correspond à un "état stationnaire" (Small and Verhoef [2007])¹⁴. S'il repose sur un indicateur de flux, le cadre d'analyse "statique" n'est par conséquent pas pertinent pour étudier le "crowded-regime" d'une infrastructure. Ceci est notamment vrai durant la phase d'"hypercongestion" (z sur la figure (2.3)), lorsque les pertes de temps sont les plus sévères. Pour illustrer algébriquement cette incohérence, on remarque que la fonction de coût privé $I(F)$ est décroissante pour la partie associée au "crowded-regime" (car $\frac{\partial v}{\partial F} > 0$ et $\frac{\partial I}{\partial v} < 0$). Comme $S(F)$ dépend de $\frac{\partial I}{\partial F} (< 0)$, le coût social est inférieur au coût privé pour ces niveaux d'utilisation. Ce résultat vide de sens l'étude du coût de la congestion routière car il implique que la route est "sous-utilisée". Il explique également pourquoi la plupart des travaux empiriques inspirés du cadre statique utilisent une fonction vitesse-flux ne décrivant qu'un coût privé croissant, i.e. décrivant le "free regime" de l'infrastructure¹⁵.

14. Les points y et z sont stables que pour une unique dimension, respectivement pour un choc de flux et de prix (Small and Verhoef [2007]).

15. La plus connue de ces fonctions est celle proposée par le Bureau of Transportation Research américain (voir Small and Verhoef [2007]).

Pour pallier cette faiblesse, les chercheurs ont progressivement remodelé le cadre d'analyse "statique". Comme la congestion routière concorde le plus souvent avec les heures de pointes, les extensions ont essentiellement porté sur la distinction entre "demande continue" (qui augmente avec la période considérée) et "demande de pointe" (qui est fixe durant la durée de la pointe, voir Verhoef [1999] ou Small and Verhoef [2007]). Pour cette dernière, le flux de véhicules souhaitant accéder à l'infrastructure excède ses capacités d'accueil, phénomène entraînant la formation d'une queue "hors" de la route¹⁶. Comme le relève Verhoef [1999], les hypothèses sous-jacentes à cette génération de modèles les rapprochent cependant du cadre d'analyse dynamique. Ainsi, ils traitent plus de ce qui se passe "en dehors" de l'infrastructure et se prêtent moins aux calculs du coût de la congestion routière tels que présentés auparavant.

2.3.2 UNE APPROCHE DÉSAGRÉGÉE DE LA DEMANDE

La stratégie proposée par Prud'homme and Sun [2000] autorise une estimation du coût "économique" de la congestion routière incorporant au modèle "statique" le "crowded-regime" de l'infrastructure. Cette approche se limite à l'étude des pertes de temps sur la route. Elle doit par ailleurs une grande part son applicabilité à la base de données à notre disposition sur l'utilisation du boulevard Périphérique parisien. Cette source statistique nous permet d'avoir la distribution des kilomètres qui y ont été parcourus en 2000 et en 2007, selon différents niveaux de vitesse (voir la section (2.4)).

La principale faiblesse de l'analyse "pigouvienne" reprenant un indicateur de flux découle de l'unicité de l'équilibre obtenu celui-ci correspondant, pour des raisons de cohérence interne et empirique, au "free-regime". Pourtant, les infrastructures de

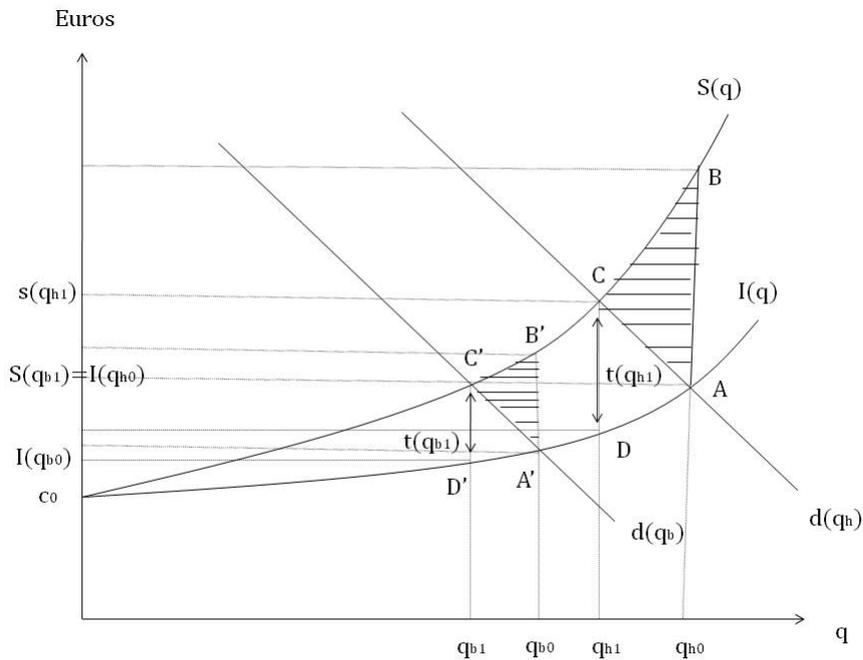
16. Du point de vue analytique, ce "goulot d'étranglement" permet de retrouver la forme continuellement croissante de la fonction de coût privé en translatant $I(F)$ vers la droite via les temps d'attente dans la queue. On retrouve la configuration de la figure (2.1) à cela près que la fonction de coût privé $I(F)$ est verticale une fois F_{max} atteint.

transport sont rarement utilisées avec une intensité constante, i.e. à l'équilibre. La vitesse de circulation qu'elles proposent varie largement selon les heures de la journée et/ou les zones géographiques qu'elles desservent. Source de cette hétérogénéité, la demande d'utilisation de la route ne peut être supposée comme unique et stable.

Pour prendre en compte ce phénomène, Prud'homme and Sun [2000] proposent de désagréger la demande $d(x)$ selon des classes de vitesse effectivement observées sur le boulevard Périphérique. Cette hypothèse de travail est forte. Elle suppose que l'utilisation du boulevard Périphérique est segmentée en strates d'automobilistes se distinguant, non pas par la période durant laquelle ils l'utilisent, mais par la qualité du service qu'ils demandent¹⁷. En réalité, un voyageur transite durant son voyage d'un "sous-marché" à un autre, au fur et à mesure qu'évolue la vitesse de circulation. A moins qu'il n'existe un substitut parfait, les conducteurs basent leur décision sur le coût total des déplacements et ne revisent pas leurs choix après chaque kilomètre parcouru. L'hypothèse de désagrégation de la demande décrit donc plus la demande totale s'adressant à l'infrastructure que celle émanant des individus. En faisant émerger plusieurs équilibres, elle présente toutefois l'avantage de décrire finement la perte de bien-être générée par un kilomètre effectivement conduit. Que ce soit à une vitesse de circulation basse ou élevée, on ne peut nier que ce kilomètre ait été demandé.

Nous retenons par ailleurs la densité de véhicules q comme indicateur indirect de la demande, à l'instar de certains modèles présents dans la littérature (Verhoef [1999], Evans [1992]). La "technologie" de la route est donc décrite par la relation vitesse-densité. Ce choix permet de travailler avec une fonction de coût privé croissante (et monotone) ainsi qu'avec une fonction de coût social toujours supérieure. Le flux de véhicules n'est toutefois pas occulté de ce travail puisque nous en déduisons dans la base de données le nombre de kilomètres parcourus par classe de vitesse (voir la section (2.4)). D'après l'hypothèse de désagrégation de la demande, cette dernière

17. Ceux-ci auraient des préférences, i.e. a et b de l'équation (2.4), différentes. Ils n'utiliseraient la route que pour une vitesse particulière, durant l'intégralité de leur voyage.



Graphique 2.4 – Modélisation "statique" de la congestion avec désagrégation de la demande

mesure constitue "in fine" l'indicateur de la demande auquel nous accordons le plus d'importance.

La figure (2.4) illustre graphiquement l'intérêt de cette méthodologie. Deux niveaux de densité y sont représentés : une utilisation faible q_b et une utilisation forte q_h associées aux fonctions de demande $d(q_b)$ et $d(q_h)$. Il existe deux niveaux d'utilisation effective, i.e. les points A et A' , et deux niveaux d'utilisation optimale, i.e. les points C et C' . Le gap entre utilisations effective et optimale varie : $q_{h1} q_{h0} > q_{b1} q_{b0}$. En d'autres termes, l'usage de l'infrastructure est d'autant plus inefficace que celle-ci est déjà caractérisée par une demande importante et une vitesse de circulation basse. Le coût de la congestion estimé en reprenant la définition "économique" du phénomène suivra logiquement cette plus grande inefficacité. D'une manière similaire, le coût marginal d'un automobiliste entrant sur la route sera supérieur pour des niveaux d'utilisation importants, tout comme le péage de congestion à appliquer.

Pour approximer ces valeurs dans le cas du boulevard Périphérique, il est nécessaire de déterminer les différentes droites de demande. Nous adoptons la démarche suivante :

1. Pour chaque classe de vitesse effectivement observée sur le boulevard Périphérique - et donc caractérisée par un coût privé $I(q_0)$ - correspond un usage q_0 qui se déduit de la relation vitesse-densité.
2. Nous faisons alors "émerger" un équilibre en supposant que $I(q_0) = p_0 = d(q_0)$.
3. A l'aide de l'élasticité prix de la demande ϵ , on trouve la pente de la droite de demande ainsi que le prix qui l'annule, i.e. a et b dans l'équation (2.1) ¹⁸.
4. En égalisant $d(q)$ à $S(q)$ - dont on connaît la spécification via la relation vitesse-densité - on trouve q_1 le niveau optimal d'utilisation de l'infrastructure pour cette classe de vitesse.
5. On obtient également $I(q_1)$ et $S(q_1)$.

Grâce à ces coordonnées, et après normalisation par rapport à la densité de véhicules ¹⁹, on peut calculer le coût unitaire de congestion, i.e. par kilomètre parcouru à une vitesse donnée. Il suffit alors d'appliquer ce coût unitaire au nombre de kilomètres réalisés à cette vitesse, et de sommer toutes les classes de vitesse, pour obtenir la destruction totale de bien-être due à une utilisation sous-optimale du boulevard Périphérique. Un exemple de ces calculs est donné dans la section (2.5).

18. Ce procédé est autorisé par la forme linéaire retenue pour la fonction de demande. En effet :

$$\epsilon = \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta p}{p}} \quad (2.11)$$

Nous obtenons donc :

$$a = \frac{p}{\epsilon \times q} = \frac{\Delta p}{\Delta q} \quad (2.12)$$

Et enfin :

$$b = p + a \times q \quad (2.13)$$

19. En définissant $I(q)$ en euros/km, la surface correspondant à la variation de surplus est exprimée en $euros \times veh/km^2$. Une division par la densité de véhicules associée à la vitesse considérée donne un coût exprimé en euro/km.

2.4 LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE PARISIEN

2.4.1 PRÉSENTATION DE L'INFRASTRUCTURE

Le boulevard Périphérique est une autoroute urbaine de 35 kilomètres qui encercle la municipalité de Paris. Construite sur les anciennes fortifications de la ville et inaugurée en 1973, cette infrastructure est le fruit de la volonté politique de l'époque de "décentraliser" le territoire francilien. A l'instar du réseau de trains régionaux, le boulevard Périphérique devait faciliter les liaisons entre les "Villes Nouvelles" et le coeur de l'agglomération. Il avait également pour but de soulager les rues parisiennes d'un grand nombre de véhicules (et de leurs nuisances) en desservant rapidement les différentes "Portes" de la capitale (voir la carte en Annexe).

Le boulevard Périphérique fut toutefois victime de son succès. En raisons de l'hégémonie économique de Paris et de l'organisation "en étoile" du réseau routier national, ses lignes de circulation²⁰ furent rapidement saturées (Gérondeau [1977]). Le boulevard Périphérique est logiquement devenu pour de nombreux franciliens le symbole des pertes de temps et du stress liés à la mobilité automobile. Il a également été accusé de représenter une "fracture territoriale" (et sociale) entre la ville de Paris et le reste de l'agglomération (Pinçon and Pinçon-Charlot [2008])²¹. Les arguments introductifs viennent compléter l'intérêt lié à cet objet d'étude, tout comme les statistiques descriptives présentées ci-dessous.

20. Le boulevard Périphérique est composé de 4 lignes de circulation sur la plus grande part de son tracé. Il atteint toutefois 5 voies entre "Porte de Montreuil" et "Porte de Bagnolet", et 2 voies entre Porte d'Italie et "Porte d'Orléans". Voir la carte en Annexe.

21. Afin de résorber cette coupure, il a été décidé que l'infrastructure soit progressivement recouverte. En sus de créer une emprise foncière dans des zones de hautes densités potentielles, cet aménagement réduit les nuisances (bruits, qualité de l'air) dont souffraient les (nombreux) riverains. Certaines sections ont déjà été recouvertes.

2.4.2 LA BASE DE DONNÉES

Le support empirique a été fourni par la Division de la Voirie et des Déplacements de la Ville de Paris (Section Tunnel, Berges et Périphérique). Les données proviennent de capteurs incorporés à la surface du boulevard Périphérique. Elles décrivent la vitesse, le flux et la densité de véhicules enregistrés pour chaque section de 500 mètres (71 tronçons) de l'infrastructure, pendant une période de 6 minutes (240 périodes par jour). Cette unité de comptage est appelée le "tronçon-période" (*tp*). Plutôt que de couvrir l'intégralité des années 2000 et de 2007, nous avons restreint les observations aux mardis et aux jeudis des mois d'octobre et de juin²², les deux sens de circulation étant fusionnés. Des "Indicateurs Généraux" sur l'utilisation du boulevard Périphérique nous ont été également fournis pour les mois d'étude.

Bien que d'une grande richesse, cette base de données a nécessité un important travail de nettoyage. Ainsi, elle était composée de nombreuses séries défaillantes, telles que l'observation du *tp* était absente selon l'échelle géographique (le nombre de *tp* disponibles n'était pas le même pour les tronçons) ou temporelle (les heures n'avaient pas toutes le même nombre de *tp*). Ces trous sont problématiques dans une perspective comparative. Pour que nos estimations ne soient pas faussées, il faut en effet que nous disposions du même nombre d'observations, i.e. le même nombre de *tp* complets, pour chaque tronçon et pour chaque jour de 2000 et 2007 (240 *tp* par jour).

Afin de résoudre ce problème, le boulevard Périphérique a été décomposé en 4 zones géographiques : Nord, Est, Sud et Ouest²³. Par ailleurs, 5 grandes périodes temporelles ont été distinguées au cours d'une journée : 00-07h, 07-10h, 10-17h, 17-20h, 20-00h. Il a ensuite fallu isoler au sein de chaque zone/période les tronçons pour lesquelles nous disposions de l'intégralité des *tp*, pour les deux années. Au final, 6

22. Ces jours et mois furent retenus car étant considérés comme représentatifs par les agents de la Division de la Voirie.

23. Le contour des différentes zones géographiques est détaillé en Annexe.

Tableau 2.1 – Indicateurs de trafic sur le boulevard Périphérique, 2000-2007

	2000	2007	Évolution (%)
Vitesse (km/h)	45,9	43,5	-5,2%
Flux (veh/h)	8064	7865	-2,5%
Densité (veh/km)	175	181	+3,4%

Source : Calculs de l'auteur à partir de la base de données nettoyée

journées par année (3 en octobre et 3 en juin) et 49 tronçons (sur les 71 possibles²⁴) ont été conservées. Le nombre de *tp* disponibles équivaut environ à 68% des données initiales, soit plus de 141000 par année d'étude.

2.4.3 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

Le tableau (2.1) décrit les indicateurs moyens de vitesse, de flux et de densité pour 2000 et 2007. Les chiffres liés à la quantité d'utilisation (flux, densité) sont exprimés tout au long de cet article pour les deux sens de circulation confondus.

Il ressort de ces statistiques descriptives que la qualité moyenne du service offert par le boulevard Périphérique s'est dégradée entre 2000 et 2007 : la vitesse de circulation y a en effet baissé de 5%. Les observations sont plus ambiguës concernant la demande. Si la densité moyenne de véhicules présents sur un kilomètre de route a augmenté de 3%, suggérant une utilisation accrue, le flux horaire connaît une légère baisse sur la période (-2%). L'observation de ces indicateurs pouvant prêter à confusion et n'aidant pas à se représenter les ordres de grandeur en jeux, on s'intéresse surtout à l'évolution du nombre de kilomètres parcourus quotidiennement sur

24. Concernant la répartition des tronçons disponibles par zone géographique : 14 sur 20 pour le Nord, 9 sur 16 pour l'Est, 13 sur 20 pour le Sud, 13 sur 15 pour l'Ouest. Pour extrapoler les résultats à l'ensemble du boulevard Périphérique du point de vue géographique, il faut multiplier les observations par 1,45.

Tableau 2.2 – Nombre de kilomètres parcourus quotidiennement sur le boulevard Périphérique, 2000-2007

	2000	2007	Évolution (%)
Kilomètres parcourus (M/jour)	7,83	7,66	-2,2%
Répartition (%)			
Vitesses <20 km/h	7,9%	8,3%	
Vitesses 20-50 km/h	18,1%	17,2%	
Vitesses 50-75 km/h	20,5%	47,5%	
Vitesses > 75 km/h	52,4%	24,9%	

Source : Calculs de l'auteur à partir de la base de données nettoyée

le boulevard Périphérique²⁵. Les chiffres du tableau (2.2) portent encore une fois sur les deux sens de circulation et distinguent les kilomètres selon quatre grandes classes de vitesse.

Le tableau (2.2) illustre en premier lieu que le boulevard Périphérique est une infrastructure de transport centrale pour l'agglomération parisienne. En supposant une moyenne de 10 kilomètres par déplacement, 766000 automobilistes l'empruntaient quotidiennement en 2007, soit 298 M avec 300 jours ouvrables par an. Il est possible de calculer que le boulevard Périphérique représentait 6% des déplacements motorisés réalisés dans la région Ile-de-France en 2000²⁶. Ces chiffres sont à rapporter aux seuls 70 kilomètres de route qu'offre l'infrastructure.

On constate ensuite que le nombre de kilomètres parcourus sur le boulevard Périphérique a légèrement diminué entre 2000 et 2007 (-2,2%). Cette moindre demande

25. Le nombre de kilomètres s'obtient en divisant le flux observé pour un *tp* par 20 (car un *tp* dure 6 minutes et correspond à 500 mètres). Il faut considérer tous les *tp* d'une journée et tous les postes d'observations disponibles, puis extrapoler le résultat à l'intégralité de l'infrastructure, pour en avoir le nombre total.

26. D'après l'Enquête Globale Transports (2002), 44% des 35 M de déplacements réalisés quotidiennement en Ile-de-France en 2001 étaient motorisés. Le nombre de kilomètres journaliers est obtenu en transformant la portée moyenne de 6,4 kilomètres en distance, à l'aide d'un coefficient de 0,25. On trouve un total quotidien de 123,2 M de kilomètres.

contraste donc avec la baisse de la vitesse moyenne et la hausse de la densité enregistrée. Elle par ailleurs très inférieure à celle observée dans Paris i.e. -24% (Kopp [2011]). Nous voyons deux raisons à cela. Dans la mesure où peu de liaisons (ferrées ou routières) autorisent des déplacements entre les Couronnes d'une agglomération en pleine dynamique de relocalisations (Gilli [2009]), l'utilisation du boulevard Périphérique peut tout d'abord être moins élastique que la demande de transport automobile dans Paris. Il se pourrait également que l'utilisation des véhicules automobiles soit devenue, entre 2000 et 2007, si coûteuse dans certaines zones de la capitale que des conducteurs se soient reportés vers le boulevard Périphérique, freinant ainsi la baisse du nombre de kilomètres parcourus sur son macadam (Prud'homme et al. [2011])²⁷.

Si on regarde la distribution des kilomètres parcourus selon les quatre grandes classes de vitesse, deux principaux résultats émergent. On observe tout d'abord une stabilité de la part des classes de vitesse inférieures à 50 km/h. Seuls 8% des kilomètres ont été réalisés en dessous de 20 km/h, avec une très légère augmentation entre 2000 et 2007. Les vitesses entre 20 et 50 km/h, représentent quant à elles un peu moins de 20% des kilomètres parcourus. La très grande majorité de la mobilité sur le boulevard Périphérique (ainsi mesurée) est donc réalisée à des vitesses de circulation élevées. A ce niveau, on observe un large changement dans la distribution. Alors que plus de 50% des kilomètres étaient parcourus en 2000 au-dessus de 75 km/h, cette classe de vitesse a vu sa part divisée par deux (25%), au profit de celle entre 50 et 75 km/h. Cet important recul peut facilement s'expliquer. Entre 2004 et 2007, 8 radars automatiques ont été introduits sur le boulevard Périphérique dans le cadre de la politique nationale de "contrôle sanction automatisée" (ONISR [2006], Corbett and Simon [1999])²⁸. Cette arrivée des radars explique pourquoi la vitesse moyenne a baissé et la densité moyenne de véhicules augmenté alors même que le nombre de

27. La vitesse moyenne sur le boulevard Périphérique était en 2007 près de trois fois supérieure à celle enregistrée sur la voirie parisienne.

28. En 2007, plus de 330000 automobilistes ont ainsi été verbalisés pour excès de vitesse. La vitesse maximale légalement autorisée sur le boulevard Périphérique est de 80 km/h.

Tableau 2.3 – Indicateurs Généraux, 2000-2007

	2000	2007	Évolution (%)
Vitesse (km/h)	51,2	46,0	-10,2%
Flux (veh/h)	9050	8400	-7,2%
Densité (veh/km)	177	182,6	+3,1%
Kilomètres parcourus (M/jour)	7,60	7,06	-8,6%

Source : Division de la Voirie et des Déplacements de la Ville de Paris

kilomètres parcourus a reculé²⁹.

On peut comparer ces chiffres avec ceux issus des "Indicateurs Généraux". Les indicateurs décrivent la vitesse et le flux de véhicules moyens sur le boulevard Périphérique, par tranche horaire³⁰.

Mis à part le flux de véhicules et le nombre de kilomètres qui rencontrent une évolution plus marquée (respectivement -7% et -8%), les "Indicateurs Généraux" vont dans le même sens que les statistiques présentées auparavant : moins de kilomètres ont été parcourus sur le boulevard Périphérique entre 2000 et 2007³¹. Ils le sont toutefois à une densité de véhicules supérieure et prennent donc plus de temps³². Les calculs de la section (2.5) permettront de voir lequel des deux effets impulse l'évolution du coût "économique" de la congestion routière.

29. Une autre explication pourrait provenir de la hausse de l'usage des deux-roues motorisés dans la zone centrale de l'agglomération (Kopp [2011]), et donc certainement sur le boulevard Périphérique. Nécessitant une vigilance accrue de la part des automobilistes, cette évolution pourrait induire une baisse de la vitesse de circulation et une hausse de la densité.

30. La densité moyenne s'obtient via l'équation (2.10). Pour le nombre de kilomètres quotidiennement parcourus, nous faisons la somme des différents flux horaires (car ces derniers sont normés pour un kilomètre de route) et considérons les 70 kilomètres de route.

31. Le travail de nettoyage de la base de données aboutit à une légère surestimation du trafic (respectivement 3% et 8% pour 2000 et 2007), ainsi qu'à des vitesses de circulation inférieures. Nous ne savons pas comment les "trous" sont pris en compte lors de la constitution de ces indicateurs. Par ailleurs, les "Indicateurs Généraux" intègrent les jours de week-end, avec une utilisation moindre du boulevard Périphérique et des vitesses supérieures.

32. La baisse de la vitesse et de la circulation dans Paris restent bien supérieures.

2.4.4 LA RELATION VITESSE-DENSITÉ

A l'aide de la base de données, il est possible de calculer la relation décrivant la "technologie" de la route : la relation vitesse-densité. Bien qu'il en existe des formes plus élaborées (Small and Verhoef [2007]), nous choisissons de travailler avec une forme linéaire simple, telle que décrite dans la section (2.3).

Pour estimer cette relation³³, nous avons retenu une journée pleine d'observations pour tous les tronçons valides et pour les deux années d'étude³⁴, soit 47040 observations :

$$v(q) = 90,29 - 0,25 \times q \quad (2.14)$$

On retrouve bien la relation décroissante entre vitesse de circulation et densité de véhicules présents sur l'infrastructure. La vitesse de circulation offerte par le boulevard Périphérique lorsque celui-ci est vide (V_{free} sur la figure (2.2)) atteint 90,3 km/h. La densité qui annule la vitesse (q_{jam}) est quant à elle égale à 361 veh/km. On peut utiliser cette relation pour déterminer le flux maximal (F_{max}) autorisé par le boulevard Périphérique, i.e. sa capacité d'accueil maximale. En croisant l'équation (2.10) avec l'équation (2.14), nous obtenons :

$$F(v) = 356,86 \times v - 3,95 \times v^2 \quad (2.15)$$

Le flux atteint son maximum lorsque la dérivée de l'équation (2.15) est nulle, soit $v = v_{max} = 45,2$ km/h. On trouve que F_{max} équivaut à 8070 veh/h et q_{max} à 179 veh/km. En comparant ces chiffres avec ceux du tableau (2.1), le boulevard Périphérique serait passé d'un usage caractérisé par le "free regime" en 2000 à un autre en "crowded

33. En corrigeant les estimations de l'hétéroscédasticité, nous obtenons un R^2 de 0,75.

34. Le choix de fusionner les deux années d'étude pour estimer la fonction est contestable dans la mesure où les radars automatiques influencent certainement la relation vitesse-densité. Étant plus intéressés par l'étude économique de la congestion routière, et non par l'ingénierie du trafic, nous avons pris le parti de la simplification. Nous testons la sensibilité de nos résultats à la relation vitesse-densité lorsque nous désagrégeons l'analyse selon l'échelle spatiale (voir la section (2.5)).

regime" en 2007. Les vitesses moyennes sont en effet de part et d'autre du point d'inflexion de la relation vitesse-flux (voir la figure (2.2))³⁵. Avec la vitesse des "Indicateurs Généraux", on s'approcherait en 2007 de la contrainte de capacité. Ce résultat, basé sur l'observation d'indicateurs moyens, est toutefois sujet à cautions³⁶. Nous n'y accordons donc qu'un intérêt secondaire et préférons centrer l'analyse sur les ordres de grandeur du coût "économique" de la congestion routière.

Pour cela, nous devons ré-écrire la fonction de "coût généralisé" d'utilisation du boulevard Périphérique (voir l'équation (2.2)) à l'aide de la relation vitesse-densité :

$$I(q) = c_0 + \frac{w}{(90,29 - 0,25 \times q)} \quad (2.16)$$

En découle la fonction de coût social suivante :

$$S(q) = I(q) + \frac{w \times q \times 0.25}{(90,29 - 0,25 \times q)^2} \quad (2.17)$$

Le coût marginal de congestion équivaut quant à lui à :

$$Ext(q) = S(q) - I(q) = \frac{w \times q \times 0.25}{(90,29 - 0,25 \times q)^2} \quad (2.18)$$

Ces fonctions sont bien croissantes et monotones avec la densité de véhicules sur la route. En désagrégant les observations selon l'échelle spatiale, nous calculons différentes relations vitesse-densité (voir Annexe) et distinguons les fonctions de coûts.

2.4.5 LES AUTRES PARAMÈTRES

Les estimations nécessitent deux autres types de paramètres : les coûts liés à l'utilisation d'un véhicule, notamment la valeur du temps w , ainsi que l'élasticité prix de

35. Ceci suggère donc que le flux de véhicules souhaitant accéder au boulevard Périphérique dépasse (en moyenne) sa capacité d'accueil, ce qui force les automobilistes présents dessus à ralentir et augmente la densité de véhicules.

36. Les chercheurs avouent en effet ne pas savoir comment évoluent précisément les indicateurs de trafic aux alentours de cette "zone de transition" (Small and Verhoef [2007]), i.e. le retournement de la relation vitesse-flux. Le fait de travailler avec la même relation vitesse-densité pour 2000 et 2007 pourrait par ailleurs biaiser l'analyse.

la demande de route ϵ .

D'après le rapport Boiteux, i.e. le rapport officiel utilisé pour les études Transports en France, la valorisation temporelle d'un déplacement en Ile-de-France était de 9,3 euros/h en 2000 (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Equipement [2005]). En stipulant un taux de croissance annuelle de la consommation de 2%, le coût d'opportunité du temps w atteint 10,2 euros/h pour 2007³⁷. Nous prenons cette seconde valeur comme référence. L'utilisation d'une moyenne occulte toutefois le fait que la valeur du temps dépend des motifs pour lesquels sont réalisés les déplacements. Afin de contre-carrer cet oubli, nous différencions le coût d'opportunité pour les déplacements réalisés durant les heures de pointe, i.e. 07-10h et 17-20h. Avec une valeur de 12,2 euros/h pour les déplacements "domicile-travail" en 2000 (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Equipement [2005]), nous obtenons 13,4 euros/h pour 2007. Pour les déplacements réalisés durant les heures creuses, i.e. 00-07h, 10-17h et 20-00h, la valorisation de 10,2 euros/h est maintenue.

Ces différentes valeurs sont valables pour un individu. Il faut donc considérer le taux d'occupation d'un véhicule, estimé en France à 1,3. De plus, une part non négligeable du trafic quotidien sur le boulevard Périphérique, i.e. 23% en 2000 (Observatoire de la mobilité de la ville de Paris [2002])³⁸, est le fait de véhicules utilitaires ou de camions. Ceux-ci ont un coût d'opportunité du temps supérieur : 31,4 euros/h en 2000 et en 2007 (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Equipement [2005])³⁹. Pour prendre en compte cette différenciation des valeurs du temps, il suffit de "corriger" les estimations finales par un coefficient⁴⁰ de 1,31. Concernant l'autre composante du "coût généralisé", i.e. le coût fixe d'utilisation c_0 , nous la prenons égale à 0,12 euro/km en 2007. Le coût fixe d'utilisation joue un rôle secondaire dans nos

37. La valeur du temps augmente en effet d'une année à l'autre, avec une élasticité de 0,7 par rapport aux dépenses de consommation des ménages (Commissariat Général du Plan [2001]).

38. Nous n'avons pas trouvé d'information plus récente. Cette valeur est donc considérée comme constante entre 2000 et 2007.

39. Il est en conseillé de ne pas indexer cette valeur du temps.

40. Pour le cas général : $1,31 = (23 \times 31,4 + 77 \times 10,2 \times 1,3) / (77 \times 10,2 \times 1,3)$.

calculs, ceux-ci portant sur la valorisation des pertes de temps⁴¹.

Le dernier paramètre dont nous avons besoin pour nos calculs est l'élasticité prix de la demande ϵ , i.e. la sensibilité des conducteurs au "coût généralisé" des déplacements. Nous reprenons une valeur usuelle dans la littérature de -0,8 (Goodwin [1992], Litman [2006]), i.e. lorsque le prix augmente de 1%, la demande de route diminue de 0,8%. Lors des tests de sensibilité, nous retenons également une valeur de -0,4 pour les déplacements réalisés durant les heures de pointe. Cette variante peut se justifier par la nature plus "contrainte" des choix de mobilité durant ces heures de la journée. En raison de la nécessité de se rendre sur les lieux de travail, la demande d'utilisation de la route baisserait ainsi moins fortement suite à une hausse du prix du déplacement.

2.5 CALCULS DU COÛT "ÉCONOMIQUE" DE LA CONGESTION ROUTIÈRE SUR LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE

2.5.1 LA SUR-UTILISATION DE L'INFRASTRUCTURE

La première étape de nos calculs consiste à déterminer les gaps entre utilisations effective et optimale du boulevard Périphérique, i.e. x_0x_1 et $x'_0x'_1$ sur la figure (2.4). Comme expliqué dans la section (2.3), nous devons pour cela reconstituer les différentes droites de demande et les égaliser à la fonction de coût social. Nous distinguons l'utilisation du boulevard Périphérique selon des classes de vitesse de 5 km/h, une seule et grande classe composant les vitesses supérieures à 75 km/h.

Comme prévu par la méthodologie, le boulevard Périphérique est presque constamment utilisé d'une manière sous-optimale. S'ils considéraient tous le coût social de

41. Cette valeur de 0,12 euro/km pourrait sembler basse. Il est difficile de trouver une valeur unique pour décrire le coût fixe d'utilisation des voitures en Ile-de-France. Bureau and Glachant [2008] le retiennent ainsi à 0,08 euro/km. Orfeuil [2008b] propose quant à lui un montant proche de 0,20 euro/km. Dans cette thèse, nous utiliserons constamment la valeur de 0,12 euro/km, sachant que nous nous intéressons bien plus à l'évolution de la composante temporelle du "coût généralisé".

Tableau 2.4 – Niveaux d'utilisation effective et optimale du boulevard Périphérique, selon des classes de vitesse de 5 km/h

Situation effective			Situation optimale		
Vitesse	Densité	Flux	Vitesse	Densité	Flux
2,5	347	867	13,9	302	4191
7,5	327	2454	23,0	266	6115
12,5	307	3843	28,8	243	7000
17,5	288	5035	33,4	225	7506
22,5	268	6028	37,4	209	7818
27,5	248	6824	41,0	195	7985
32,5	228	7423	39,9	199	7948
37,5	209	7824	47,5	169	8032
42,5	189	8027	50,8	156	7927
47,5	169	8033	54,4	142	7719
52,5	149	7841	57,6	129	7437
57,5	130	7451	61,4	114	7005
62,5	110	6864	65,2	99	6459
67,5	90	6079	69,3	83	5751
72,5	70	5096	73,6	66	4857
> 75	18	1521	85,7	18	1543

Source : Calculs de l'auteur

leur décision, il y aurait un peu moins d'automobilistes sur la route (en retenant la densité comme indicateur de la demande⁴²), autorisant ainsi une vitesse de circulation supérieure. Cet "excès" de véhicules n'est toutefois pas homogène. Avec une moyenne à 17,6%, le gap atteint son maximum (30%) pour les classes de vitesse comprises entre 15 et 35 km/h puis décline jusqu'à devenir négligeable pour les vitesses de circulation élevées⁴³. Les coûts unitaires de congestion calculés pour ces dernières classes de vitesse seront donc négligeables.

Nous disposons désormais de toutes les informations nécessaires au calcul du coût unitaire de congestion pour une classe de vitesse donnée, i.e. la surface $(p_0 - I(x_1)) \times x_1 - (p_1 - p_0) \times (x_0 - x_1)/2$ sur la figure (2.1).

2.5.2 EXEMPLE POUR UNE CLASSE DE VITESSE PARTICULIÈRE

En considérant la classe de vitesse 5-10 km/h et en utilisant les équations (2.16) et (2.17), on obtient les coordonnées suivantes :

$$\begin{aligned}x_0 &= 327 \text{ veh/km} \\x_1 &= 266 \text{ veh/km} \\p_0 &= I(x_0) = 1,48 \text{ euro/km} \\p_1 &= S(x_1) = 1,86 \text{ euro/km} \\I(x_1) &= 0,56 \text{ euro/km}\end{aligned}$$

Le coût kilométrique Ck_{5-10} est ainsi égal à :

$$Ck_{5-10} = 0,92 \times 266 - 0,38 \times 57/2 = 232,01 \text{ euros} \times \text{veh/km}^2$$

42. Si on regarde le flux pour les vitesses inférieures à 45 km/h, on retrouve le problème soulevé dans la section (2.3) : le flux optimal est supérieur au flux effectif.

43. Par effet d'arrondis, le gap est quasi-nul pour les vitesses supérieures à 75 km/h.

Ce chiffre correspond au coût généré par 327 véhicules roulant 1 kilomètre sur le boulevard Périphérique, à une vitesse moyenne de 7,5 km/h, au lieu de 23 km/h. On trouve le coût unitaire de congestion Cu_{5-10} en divisant ce coût kilométrique par le nombre de véhicules présents sur un kilomètre de route, i.e. la densité :

$$Cu_{5-10} = 232,01/327 = 0,71 \text{ euro/km}$$

Il suffit finalement d'appliquer ce coût unitaire de congestion au nombre de kilomètres parcourus dans la classe de vitesse 5-10 km/h et de considérer la composition du trafic sur le boulevard Périphérique, i.e. le coefficient de 1,31. Avec 300 jours ouvrables, on observe 30,7 M de kilomètres roulés à cette vitesse pour 2007 (voir le tableau (2.5)). Ainsi :

$$C_{tot5-10} = 0,71 \times 30,7 \times 1,31 = 28,6 \text{ M euros}$$

2.5.3 RÉSULTATS

Le tableau (2.5) présente les résultats obtenus pour l'ensemble des classes de vitesse. Nous comptons 300 jours d'utilisation du boulevard Périphérique par an. Deux grands résultats émergent.

D'un point de vue méthodologique tout d'abord, la grande majorité du coût "économique" de la congestion routière est concentrée dans les classes de vitesse basses. Plus de 70% de la "perte sèche" calculée pour 2007 - 130,6 M euros - se forme lors des kilomètres roulés sous 20 km/h, lorsque l'infrastructure est en "hypercongestion". Ce chiffre est à comparer avec la faible part des kilomètres réalisés à ces vitesses dans l'utilisation totale du boulevard Périphérique, i.e. 8,3% (voir le tableau (2.2)). Inversement, les pertes de temps résultant d'une utilisation sous-optimale de l'infrastructure lorsque celle-ci est en "free regime" occupent une place secondaire. Les coûts de

congestion issus des kilomètres réalisés au-dessus de 50 km/h représentaient à peine 2,9% de la perte de bien-être en 2007, contre plus de 70% du trafic. La méthodologie proposée par Prud'homme et Sun (2000) met donc bien en évidence la non-linéarité du coût de congestion routière. En se basant sur les densité (185 veh/km) et vitesse moyennes de 2007 (43,5 km/h), et en appliquant le coût unitaire correspondant à la totalité du trafic, la "perte sèche" s'élèverait à 67,4 M euros. L'approche désagrégée de la demande évite donc d'être victime d'un important "effet de composition".

Dans une perspective comparative, on constate que les pertes de bien-être des utilisateurs du boulevard Périphérique ont augmenté : + 7 M euros entre 2000 et 2007. La baisse de la vitesse moyenne de circulation domine donc le moindre usage de l'infrastructure. Même si d'une faible ampleur (+ 5,7% entre 2000 et 2007, soit 0,9% par an), les arguments introductifs à l'encontre de l'externalité de congestion ne peuvent qu'apprécier négativement la majoration de la perte sociale. En croisant les vitesses moyennes des classes avec le nombre de kilomètres parcourus, on observe que plus d'heures ont été "consommées" sur le boulevard Périphérique, i.e. 52,8 M en 2007 et 51 M en 2000. Rapportée à la monétarisation de ces ressources temporelles (respectivement 708,4 M euros et 686,6 M euros), la destruction de surplus associée à l'externalité "technologique" gagne légèrement en importance sur la période (18,4% contre 18%)⁴⁴. Cet ordre de grandeur est en phase avec le nombre moyen d'automobiles "en trop" sur le boulevard Périphérique (voir le tableau (2.4)).

Il est possible d'isoler les sources de cette évolution en regardant la distribution des kilomètres parcourus. Conformément à la remarque sur la faible importance du "free regime" dans une optique de coût, l'introduction des radars sur le boulevard Périphérique n'a joué qu'un rôle minime. L'arrivée de nombreux automobilistes dans les classes de vitesse comprises entre 65 et 75 km/h n'a augmenté la perte totale que de 0,8 M euros par rapport à 2000, soit 12% de la sur-facture. L'essentiel de celle-ci provient des classes de vitesse inférieures à 20 km/h. Bien qu'elles n'aient gagné que

44. Si on rapporte le "coût économique" de la congestion au coût total d'utilisation du boulevard Périphérique, temps et argent c_0 , ces ratios deviennent respectivement 13,3% et 12,8% pour 2007 et 2000.

0,4% des parts de l'utilisation totale, elles comptaient ainsi 6 M de kilomètres additionnels en 2007. Étant donnée la sensibilité du coût unitaire aux classes de vitesse, cette évolution a engendré une hausse des pertes de temps de plus de 6 M euros.

Tableau 2.5 – Coûts économiques de la congestion routière sur le boulevard Périphérique

Vitesse (km/h)	Coût unitaire (euros/km)	Distrib. 2000 (%)	Distrib. 2007 (%)	Trafic 2000 (M km)	Trafic 2007 (M km)	Coût 2000 (M euros)	Coût 2007 (M euros)
2,5	2,866	0,15	0,19	3,6	4,3	13,5	16,2
7,5	0,709	1,20	1,34	28,1	30,7	26,2	28,6
12,5	0,334	2,80	2,94	65,7	67,5	28,9	29,6
17,5	0,190	3,71	3,83	87,1	88,1	21,8	22,0
22,5	0,118	3,65	3,83	85,8	88,0	13,3	13,7
27,5	0,077	3,58	3,63	84,1	83,4	8,5	8,4
32,5	0,034	3,37	3,27	79,2	75,1	3,5	3,4
37,5	0,034	2,87	2,69	67,5	61,8	3,0	2,7
42,5	0,022	2,54	1,98	59,6	45,6	1,7	1,3
47,5	0,015	2,14	1,82	50,4	41,9	1,0	0,8
52,5	0,009	2,03	2,19	47,8	50,3	0,6	0,6
57,5	0,006	2,72	3,74	63,9	85,9	0,5	0,7
62,5	0,004	3,84	7,88	90,3	181,1	0,4	0,8
67,5	0,002	5,83	15,58	137,0	358,1	0,4	0,9
72,5	0,001	8,20	20,16	192,5	463,2	0,3	0,6
>75	0,000	51,36	24,95	1206,5	573,4	0,0	0,0
Total	-	100,00	100,00	2349	2298	123,6	130,6

Source : Calculs de l'auteur

2.5.4 DÉSAGRÉGATION TEMPORELLE

Pour tester la sensibilité des résultats, nous avons tout d'abord distingué les heures creuses des heures de pointe. Deux grands périodes temporelles ont ainsi été formées à l'aide des créneaux horaires retenus pour le nettoyage de la base de données : 00-07h, 10-17h et 20-00h pour les heures creuses ; 07-10h et 17-20h pour les heures de pointe. Les vitesses moyennes et les distributions des kilomètres parcourus selon les classes de vitesse ont alors été calculées pour ces deux grandes périodes. Les estimations conduites pour les heures de pointe utilisent une valeur du temps supérieure (13,4 euros/h contre 10,2 euros/h) ainsi qu'une élasticité prix de la demande égale à -0,4 (au lieu de -0,8) ⁴⁵.

Le tableau (2.6) présente les résultats de cette désagrégation temporelle. Il souligne la prépondérance des heures de pointe dans le calcul du coût "économique" de la congestion routière. Alors que les créneaux horaires 07-10h et 17-20h accueillent 32% des kilomètres parcourus sur le boulevard Périphérique en 2007, ils comptent pour plus de 70% de la "perte sèche" (160,8 M euros). La vitesse moyenne de circulation y est deux fois plus basse que durant les heures creuses (27,3 km/h contre 54,4 km/h en 2007). La part des kilomètres conduits sous 20 km/h (la colonne "Lents km" dans le tableau (2.6)) est surtout cinq fois supérieure pour ces heures de la journée, i.e. respectivement 21% contre 4%. Ces chiffres permettent donc de comprendre pourquoi négliger l'utilisation d'une infrastructure durant son "crowded regime" est préjudiciable aux approches "statiques" de la congestion routière.

45. Dans ce cas, il faut recalculer les gaps entre quantités effective et optimale d'utilisation du boulevard Périphérique (voir Annexe) mais également le coefficient prenant en compte la composition du trafic. Celui-ci devient 1,18.

Tableau 2.6 – Coûts "économiques" de congestion sur le boulevard Périphérique, selon l'échelle temporelle

	2000			2007				
	Trafic (M km)	Vitesse (km/h)	Coût (M euros)	"Lents km" (%)	Trafic (M km)	Vitesse (km/h)	Coût (M euros)	"Lents km" (%)
Pointes	722	30,4	94,8	17,3	736	27,3	115,9	21
07-10h	342	-	45	-	349	-	55	-
17-20h	379	-	49,8	-	387	-	60,9	-
Creuses	1626	57,3	36,4	3,7	1562	54,4	38,8	4,0
00-07h	281	-	7,3	-	270	-	7,8	-
10-17h	939	-	24,5	-	902	-	25,9	-
20-00h	407	-	10,6	-	390	-	11,2	-
Total	2349	-	137,2	-	2298	-	160,8	-

Source : Calculs de l'auteur

En comparant 2000 et 2007, on observe que la hausse du coût "économique" de la congestion est nettement plus intense que celle calculée au niveau agrégé, i.e. + 17% contre + 6%. Ce résultat est imputable aux heures de pointes, et ce pour deux raisons. Les calculs sont tout d'abord sensibles à la valeur du temps retenue. Le choix de majorer de 31% le coût d'opportunité du temps durant les heures de pointe participe ainsi à une hausse du coût de 23%⁴⁶. Contrairement aux heures creuses, les heures de pointe accueillent par ailleurs un plus grand nombre absolu de kilomètres en 2007 (+ 2% contre - 4%), et ce à un niveau de service dégradé (la vitesse moyenne a baissé de 10%; les "Lents km" ont également gagné en "parts" d'utilisation totale). Bien qu'elle puisse provenir des spécificités de notre base de données, cette intensification de l'usage du boulevard Périphérique durant les heures de pointe permet de comprendre l'importante "sur-facture" à laquelle aboutissent les calculs. Elle pourrait par ailleurs être compatible avec le report viaire des rues parisiennes vers le boulevard Périphérique le matin et le soir.

2.5.5 DÉSAGRÉGATION SPATIALE

Les estimations du coût "économique" de la congestion routière ont également été reproduites en distinguant le trafic et les relations vitesse-densité pour chacune des zones géographiques composant le boulevard Périphérique⁴⁷. Ce travail permet de lever l'hypothèse d'homogénéité de l'infrastructure. Il est d'autant plus intéressant que la priorité est accordée aux véhicules entrants sur le boulevard Périphérique. Des conditions de circulation différentes peuvent ainsi s'expliquer par des capacités d'accueil inégales et/ou une demande de transport plus ou moins intense.

Le tableau (2.7) permet d'illustrer cette hétérogénéité spatiale dans l'utilisation et les conditions de circulation sur le boulevard Périphérique. Ainsi, le ratio entre trafic

46. Ce surenchérissement est mitigé par l'effet de l'élasticité prix de la demande inférieure. Cette dernière modification tend à réduire les gaps entre utilisations effective et optimale. Elle n'influence toutefois que sensiblement les résultats.

47. Pour les relations vitesse-densité, nous avons également considéré deux journées pleines d'observations par zone (une en 2000 et une en 2007), voir Annexe.

maximum et trafic minimum selon les zones géographiques atteint 1,32 en 2007, le maximum étant sur le Nord de l'infrastructure et le minimum sur l'Ouest. Si on s'intéresse à la vitesse moyenne de circulation, le ratio décrit une disparité encore plus grande avec une valeur de 1,46 en 2007, i.e. la vitesse la plus élevée à cette date est enregistrée dans le Nord et l'Ouest, la plus faible dans le Sud.

Cette variabilité des conditions de circulation se prolonge logiquement dans le coût "économique" de la congestion routière. Le tableau (2.7) montre en effet que la zone Sud concentrait - avec 51,2 M euros - environ 40% des pertes de temps dûes à une utilisation inefficace du boulevard Périphérique en 2007, alors même qu'elle accueillait 23% du trafic. Les capacités d'accueil structurellement inférieures dans le Sud du boulevard Périphérique expliquent une vitesse de circulation plus basse et une importante part des "lents" kilomètres (14,7% en 2007). Conformément aux indicateurs moyens, les zones Est, Nord et (surtout) Ouest sont associées à des pertes de bien-être nettement inférieures. Il est frappant de constater qu'en ré-agrégeant les pertes de bien-être localisées, la perte totale est sensiblement égale à celle estimée à l'aide d'une unique relation vitesse-densité pour l'infrastructure.

Dans une optique comparative, la zone Sud du boulevard Périphérique est également celle ayant connu les pires dégradations des conditions de circulation entre 2000 et 2007. Bien que le nombre de kilomètres conduits y a chuté de 3,8%, la vitesse moyenne a baissé de 10%. Surtout, les kilomètres "lents" ont vu leur part augmenter sur la période. En découle une hausse du coût de congestion de 13,8%. A un degré moindre, la zone Est a connu une évolution similaire. Inversement, la section Ouest a vu le montant de sa "perte sèche" diminuer dans d'importantes proportions (-30%), et ce malgré la légère hausse du nombre de kilomètres parcourus dessus (+1%). S'il peut provenir du nettoyage des données, ce dernier résultat est numériquement en phase avec la hausse de la vitesse moyenne (+10%) et l'importante baisse de la part des "lents" kilomètres (8,9% en 2000 et 5,9% en 2007) ⁴⁸.

48. Entre 2000 et 2007, la zone Ouest est passée d'une utilisation (en moyenne) sous "crowded regime" à une utilisation en "free regime". La zone Sud était déjà en "crowded regime" en 2000, elle s'y est enfoncée. La zone Est est quant à elle passée du "free regime" au "crowded regime".

Tableau 2.7 – Coûts "économiques" de congestion sur le boulevard Périphérique, selon l'échelle spatiale

	2000				2007			
	Trafic (M km)	Vitesse (km/h)	Coût (M euros)	"Lents km" (%)	Trafic (M km)	Vitesse (km/h)	Coût (M euros)	"Lents km" (%)
Est	595	47,7	26,1	7	569	43,3	32,4	7,9
Nord	695	53,8	24	4,6	685	49,7	26,9	5,5
Sud	548	37,9	45	12,3	527	33,9	51,2	14,7
Ouest	511	45	28,5	8,9	516	49,7	19,7	5,9
Total	2349	-	123,6	-	2298	-	130,2	-

Source : Calculs de l'auteur

2.6 IMPLICATIONS DE POLITIQUES PUBLIQUES

2.6.1 RÉCAPITULATIF ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Les calculs opérés jusqu'ici aboutissent à des estimations du coût "économique" de la congestion sur le boulevard Périphérique comprises entre 130 et 160 M euros pour 2007. Inspiré du cadre "statique" (Walters [1961], Verhoef [1999]), le modèle de Prud'homme and Sun [2000] oublie certes une partie des pertes de bien-être car négligeant les temps d'attente parfois nécessaires pour accéder à l'infrastructure ou les ajustements des conducteurs souhaitant franchir ce "goulot d'étranglement" (Arnott et al. [1990], de Palma and Zaouali [2007]). L'hypothèse de désagrégation de la demande décrit par ailleurs plus la demande globale s'adressant au boulevard Périphérique que le choix individuel. Cette méthodologie semble toutefois offrir une image fine du phénomène de congestion. La non-linéarité du coût unitaire par rapport à la vitesse permet de considérer le "crowded regime" de l'infrastructure, lorsque qu'une faible part de l'utilisation totale est responsable de la grande majorité des pertes de bien-être.

En comparant 2000 et 2007, on a observé que la facture imputable à l'externalité de congestion avait sensiblement augmenté. Même si un nombre inférieur de kilomètres ont été parcourus sur le boulevard Périphérique en 2007, la vitesse moyenne de circulation y a baissé, plus d'heures ont été "consommées". Cette dégradation des conditions de circulation apparaît circonscrite dans le temps (les heures de pointe) et dans l'espace (les zones Sud et Est). Elle est indirectement le résultat de l'arrivée de radars automatiques sur le boulevard Périphérique, peut-être de celle d'automobilistes qui utilisaient auparavant la voirie parisienne. Il est possible que le nettoyage opéré dans la base de données conduise à la spécificité de ces résultats et/ou participe à sur-estimer la tendance. Toutefois, les "Indicateurs Généraux" indiquent également qu'un plus grand nombre d'heures ont été "consommées" sur le boulevard Périphérique : 44,5 M heures en 2000 contre 46 M heures en 2007. D'une manière si-

milaire, ils vont dans le sens d'une rencontre prochaine de la demande d'utilisation avec la contrainte de capacité du boulevard Périphérique.

Si elle devait se prolonger, cette tendance⁴⁹ peut donc être jugée comme regrettable pour la zone centrale parisienne. La vitesse des déplacements au sein d'un espace géographique participe en effet à déterminer la "taille effective du marché du travail", i.e. le nombre d'emplois auxquels peut accéder un résident en moins de X minutes de déplacement (Prud'homme and Lee [1999], Cervero [2001], Wenglenski [2007]). Si la baisse de la vitesse sur le boulevard Périphérique diminue l'attractivité des automobiles par rapport aux autres modes pour réaliser des déplacements intéressant Paris et/ou les Couronnes de l'agglomération, elle est également associée à des "interactions hors-marché" d'une moindre intensité. La "taille effective du marché du travail" représente ainsi l'espace au sein duquel les mécanismes de "learning, sharing and matching" peuvent se développer. Elle est positivement reliée à la "sur-productivité" urbaine (Prud'homme and Lee [1999], Cervero [2001]). Étant donnée l'importance du boulevard Périphérique pour assurer l'accessibilité de nombreuses zones géographiques, le renchérissement de son utilisation pourrait donc engendrer une réduction du potentiel productif de l'agglomération (Costes et al. [2009], Davezies [2007]). Ce dernier argument n'est pas négligeable dans la mesure où l'Ile-de-France et ses avantages productifs occupent une place primordiale dans le système de redistribution nationale (Davezies [2008b]).

Ces conclusions militent donc en faveur d'une intervention publique corrigeant la "défaillance de marché" que représente la congestion du boulevard Périphérique parisien. Nous nous intéressons maintenant au péage optimal de congestion. Bien

49. Bien que le travail de nettoyage de la base de données limite la pertinence de la comparaison, il est tentant de regarder les résultats de Prud'homme and Sun [2000] sur le coût "économique" de la congestion du boulevard Périphérique en 1996. En reprenant leur distribution des kilomètres parcourus selon les mêmes classes de vitesse, on trouve une "perte sèche" de 85,5 M euros avec nos paramètres (valeur du temps, relation vitesse-densité, coefficient de 1,31), soit une hausse de 44% par rapport à 2000. Dans leur base de données, Prud'homme and Sun [2000] observent pour 1996 une vitesse moyenne de 66 km/h, une densité moyenne de 112,3 veh/km et un trafic quotidien de 9,4 M kilomètres. Par ailleurs, la part des kilomètres conduits sous 20 km/h s'élevait à peine à 4% du trafic total.

qu'une politique de "régulation par les prix" ne puisse être aujourd'hui effective (Conseil d'Analyse Stratégique [2008])⁵⁰, et que les véhicules automobiles soient déjà "sur-tarifés" en France (Prud'homme and Kopp [2010a]), les volontés politiques viendront éventuellement modifier les "règles du jeu" en vue d'atteindre une tarification "internalisante" de la congestion. Le boulevard Périphérique apparaît encore une fois comme un bon "benchmark" pour cibler les enjeux, notamment ceux liés au choix du tarif ou au recyclage des recettes⁵¹. Une attention particulière est tout d'abord accordée au coût marginal de congestion.

2.6.2 COÛTS MARGINAUX ET PÉAGES OPTIMAUX

Le tableau (2.8) présente les coûts privé $I(q)$ et social $S(q)$ d'utilisation du boulevard Périphérique, selon des classes de vitesse de 5 km/h, ainsi que les coûts marginaux et les taxes optimales associés (respectivement $Ext(x_0) = AB$ et $t = Ext(x_1) = CD$ sur la figure (2.1)).

Le tableau (2.8) illustre à nouveau la grande sensibilité des coûts aux vitesses de circulation. C'est notamment le cas du coût social et du coût marginal qui sont très importants pour les deux premières classes de vitesse. L'importance de l'externalité dans le coût social est par ailleurs décroissante avec ces mêmes classes de vitesse : alors qu'il représente au moins 85% du coût social sous 15 km/h, le coût marginal de congestion contribue pour moins de 30% au dessus de 50 km/h. Dans ces conditions, il peut s'avérer extrêmement coûteux pour la société d'ajouter au trafic du boulevard Périphérique des automobilistes supplémentaires lorsque celui-ci est déjà caractérisé par des conditions de circulation dégradées (Prud'homme et al. [2011]).

50. En raison du cadre légal national qui autorise la tarification des infrastructures uniquement dans une optique de financement (Conseil d'Analyse Stratégique [2008]).

51. de Palma and Lindsey [2006] et Bureau and Glachant [2008] traitent des péages urbains en Ile-de-France, avec différentes approches cependant. Tandis que de Palma and Lindsey [2006] s'intéressent à l'efficacité d'une telle mesure, i.e. atteindre une répartition modale optimale, Bureau and Glachant [2008] en étudient les effets redistributifs entre ménages.

Tableau 2.8 – Coûts (privé, social, marginal) d'utilisation du boulevard Périphérique et taxes optimales

Vitesse (km/h)	I(q) (euro/km)	S(q) (euro/km)	Ext(q) (euro/km)	Part Ext(q) (%)	Taxe optimale (euro/km)
2,5	5,465	193,142	187,677	0,972	5,300
7,5	1,902	21,567	19,665	0,912	1,702
12,5	1,189	7,841	6,652	0,848	0,990
17,5	0,884	4,059	3,176	0,782	0,683
22,5	0,714	2,503	1,789	0,715	0,505
27,5	0,606	1,715	1,109	0,647	0,393
32,5	0,531	1,262	0,731	0,579	0,422
37,5	0,476	0,978	0,502	0,513	0,253
42,5	0,434	0,788	0,353	0,449	0,204
47,5	0,401	0,655	0,253	0,387	0,162
52,5	0,375	0,558	0,183	0,328	0,131
57,5	0,352	0,485	0,132	0,273	0,102
62,5	0,334	0,429	0,095	0,222	0,079
67,5	0,318	0,385	0,067	0,174	0,058
72,5	0,304	0,350	0,045	0,129	0,041
>75	0,276	0,284	0,008	0,029	0,008

Source : Calculs de l'auteur

Il est possible de comparer ces estimations du coût marginal avec celles proposées par Leurent et al. [2009] pour le réseau routier francilien⁵². Concernant les "grandes artères de circulation à accès limité" dans Paris, ils trouvent que le coût marginal de congestion est de 2,15 minutes par kilomètre durant les pointes, soit 0,49 euro par kilomètre avec nos paramètres. En reprenant la vitesse moyenne des heures de pointe en 2007 (27,3 km/h), nous obtenons 1,11 euro par kilomètre⁵³. Cette forte différence provient probablement de la méthodologie qui autorise dans notre cas l'analyse du "crowded regime". Elle pourrait également s'expliquer par l'objet d'étude. IWWW-Karlsruhe [2000] propose ainsi pour les autoroutes un coût marginal de 2,70 euros par kilomètre en cas de "trafic dense". Pour la "vraie congestion", l'effet externe est de 3,10 euros par kilomètre. Ces valeurs correspondent aux classes de vitesse entre 15 et 25 km/h avec nos calculs.

Quelque soit l'ampleur de la sur/sous-estimation, les coûts marginaux du tableau (2.8) permettent d'illustrer l'importance du temps, "ressource la plus rare", dans le coût social des transports. Jusqu'à 60 km/h, ils sont largement supérieurs à la somme des coûts marginaux des autres externalités générées par la mobilité automobile (bruit, accidents, pollution locale et contribution à l'effet de serre), soit 0,11 euro par kilomètre en reprenant les méta-analyse de Quinet [2004] ou 0,13 euro par kilomètre d'après celle de l'Agence Européenne de l'Environnement (TERM [2005]).

Une conclusion centrale du tableau (2.8) réside finalement dans la distinction à opérer entre les différents coûts d'utilisation du boulevard Périphérique. Ainsi, le péage optimal diffère grandement du coût marginal effectif, notamment sous 40 km/h. Choisir le bon référentiel est donc crucial si les décideurs publics ne veulent pas que la politique de tarification ne détruise plus de surplus économique qu'elle n'en fait économiser, surtout durant les heures de pointes. Le tableau (2.9) donne plus de détails sur la grille de tarification optimale du boulevard Périphérique ($t = Ext(x_1)$),

52. Leurent et al. [2009] utilisent des fonctions vitesse-flux différenciées selon trois types de route et trois zones géographiques.

53. Nous aboutissons à un résultat compris entre 0,50 et 0,35 euro par kilomètre, pour respectivement 43,5 km/h et 46 km/h, i.e. notre vitesse moyenne et celle des "Indicateurs Généraux".

selon les différents scénarios (agrégé, temporel, géographique) étudiés. La baisse du trafic est estimée en appliquant au nombre de kilomètres parcourus en 2007 (dans chaque classe de vitesse) la baisse de la densité correspondant au gap $x_0.x_1$ (voir le tableau (2.4))⁵⁴. à l'instar des analyses "statiques", elle néglige le trafic "induit" (Cervero and Hansen [2002], Duranton and Turner [2009]). Elle oscille entre -9% et -14%.

54. Nous utilisons ce procédé car avec le flux de véhicules, l'utilisation optimale est supérieure à celle effective (voir le tableau (2.4)).

Tableau 2.9 – Grille de tarification optimale pour le boulevard Périphérique

Vitesse (km/h)	Ensemble (euro/km)	Pointes (euro/km)	(+ Creuses)	Est (euro/km)	Nord (euro/km)	Sud (euro/km)	Ouest (euro/km)	(Géographique)
2,5	5,300	7,088	-	5,255	5,240	5,229	5,278	-
7,5	1,702	2,361	-	1,701	1,701	1,702	1,732	-
12,5	0,990	1,400	-	0,985	0,987	0,972	0,995	-
17,5	0,683	0,969	-	0,675	0,678	0,666	0,680	-
22,5	0,505	0,720	-	0,504	0,507	0,489	0,506	-
27,5	0,393	0,556	-	0,396	0,405	0,380	0,396	-
32,5	0,422	0,643	-	0,417	0,419	0,427	0,425	-
37,5	0,253	0,348	-	0,254	0,257	0,239	0,254	-
42,5	0,204	0,276	-	0,204	0,209	0,183	0,206	-
47,5	0,162	0,219	-	0,166	0,171	0,152	0,168	-
52,5	0,131	0,171	-	0,133	0,137	0,120	0,134	-
57,5	0,102	0,134	-	0,104	0,110	0,090	0,107	-
62,5	0,079	0,100	-	0,081	0,085	0,067	0,084	-
67,5	0,058	0,073	-	0,060	0,064	0,047	0,063	-
72,5	0,041	0,051	-	0,043	0,048	0,031	0,046	-
>75	0,008	0,010	-	0,009	0,013	0,000	0,012	-
Recette (M euros)	323,3	323,8	465,8	82,9	78,6	107,2	58,1	326,8
Baisse Km (%)	-10,5%	-12,6%	-9,3%	-11,0%	-9,1%	-26,4%	-9,7%	-13,8%

Source : Calculs de l'auteur

Cette grille de tarification suppose des ajustements en "temps réel" du péage optimal, au gré des changements de vitesse après chaque kilomètre parcouru sur le boulevard Périphérique, éventuellement selon les périodes de la journée ou les zones géographiques empruntées. Si elle est techniquement réalisable grâce à l'introduction des Nouvelles Technologies de l'Information et des Communications dans les systèmes de mobilité (Orfeuil [2008b], de Palma, Pahaut, and Quinet [2005b]), il n'est pas pour autant certain que cette politique soit efficace. Pour l'être, la règle de tarification nécessiterait que les automobilistes soient parfaitement informés du péage kilométrique dont ils devront s'acquitter en arrivant sur le boulevard Périphérique, ainsi que de ses variations durant leur utilisation de l'infrastructure. Une solution pour améliorer la prévisibilité du "prix généralisé" consisterait alors à substituer la tarification optimale (kilométrique) par celle associée à la vitesse moyenne du déplacement. Pour un voyage de 10 kilomètres durant les heures de pointes (à une vitesse moyenne de 27,5 km/h en 2007), ce péage serait de 5,6 euros environ. Le même voyage devrait être tarifé 1,3 euro durant les heures creuses (pour une vitesse moyenne de 52,5 km/h).

Le tableau (2.9) nous confirme par ailleurs que les recettes issues d'une tarification optimale du boulevard Périphérique sont nettement supérieures au coût "économique" de sa congestion (323 M euros contre 130 M euros pour le cas agrégé et 2007). Ce résultat est peut-être biaisé par l'estimation de la réduction du trafic et ne prend pas en compte les frais financiers de mise en place du système, bien souvent importants. Il souligne toutefois qu'une politique de taxation engendre d'importants transferts de surplus économique (Rothengatter [2003]). Entre les voyageurs qui restent sur la route et ceux qui la quittent (Rothengatter [2003], Bureau and Glachant [2008]), notamment selon les classes de revenu. Mais également entre les voyageurs et l'État (ou l'autorité qui perçoit les recettes financières). Ce dernier doit "neutraliser" les transferts et compenser les perdants afin de justifier son intervention (Small [1992], Crozet [2007], de Palma et al. [2007]). Pour cela, les recettes annuelles issues du scénario "temporel" (465,8 M euros) pourraient autoriser la construction d'une éven-

tuelle ligne de tramway de 10 kilomètres dans Paris. Elles pourraient également participer au financement d'une grande ligne ferrée facilitant les déplacements entre les Couronnes de l'agglomération et promise pour l'horizon 2020 (Crozet [2007]). Une issue cruciale concernant l'"acceptabilité" d'un péage semble en effet indissociable du substitut proposé aux voyageurs en échange de leur "renonciation" au boulevard Périphérique (Giuliano [1992], Raux and Souche [2004], Crozet [2007]).

Le gap entre coût "économique" de la congestion et recettes du péage optimal constitue finalement une première illustration des divergences d'opinions sur le coût de l'externalité. La vision "internalisante" du phénomène implique ainsi une forte sur-estimation de la perte de bien-être, au moins 2,5 fois supérieure.

2.6.3 L'AMPLEUR DES COÛTS DE LA CONGESTION ROUTIÈRE

Afin de prolonger cette observation, nous ponctuons ce travail par une comparaison des coûts de congestion tels que définis par les approches concurrentes au sein du cadre d'analyse "statique". Nous extrapolons ensuite les pertes trouvées pour le boulevard Périphérique à diverses échelles territoriales (la région Ile-de-France, la France) et les rapportons à des indicateurs globaux de richesse tels que le PIB national ou régional.

Outre les approches "économique" (160,8 M euros en 2007 avec le scénario "temporel") et "internalisante" (465,8 M euros), nous retenons :

1. L'approche "Demande unique" : elle considère les densité et vitesse moyennes de 2007 et n'opère pas à la désagrégation de la demande. La "perte sèche" est de 67,4 M euros (voir la section (2.5)).
2. L'approche "naïve" : d'après la relation vitesse-densité, la vitesse correspondant à une route vide est $v_{free}=90,3$ km/h (voir la section (2.4)). à cette vitesse, il aurait fallu 23,1 M heures pour réaliser les 2298 M de kilomètres parcourus en 2007, soit 29,7 M heures "en trop". Avec les paramètres usuels, nous trouvons

398,1 M euros (2,5 fois nos estimations).

3. L'approche "par le coût marginal" : cette variante de la vision "internalisante" prend comme référence l'utilisation effective des infrastructures et y applique le coût marginal, i.e. la surface $x_0 \times AB$ sur la figure (2.1). En croisant les données des tableaux (2.5) et (2.8), nous trouvons 2590,5 M euros (16 fois nos estimations!).
4. Une approche "hybride" : elle ajoute au coût "économique" du scénario "temporel" (160,8 M euros) la monétarisation du temps passé sur le boulevard Périphérique durant les heures de pointe (27 M heures en 2007, soit 428,4 M euros). Ce choix est motivé par le constat de l'analyse "dynamique" selon lequel les "scheduling costs" totaux, i.e. la somme des coûts individuels liés aux départs précoces ou arrivées tardives et nécessaires au franchissement d'un "goulot d'étranglement", sont égaux aux coûts temporels totaux (Arnott et al. [1990], de Palma and Fosgerau [2010]). Ce scénario aboutit à 589,2 M euros (3,7 fois nos estimations).

Ces premiers résultats sont sans appel : les pertes de bien-être imputables à la congestion du boulevard Périphérique varient considérablement selon les définitions retenues. L'écart trouvé avec l'approche "par le coût marginal" est particulièrement frappante. L'extrapolation de ces coûts aux niveaux régional et national est encore plus riche en enseignements.

Nous considérons tout d'abord que le boulevard Périphérique représentait 33% des encombrements enregistrés en Ile-de-France en 2005 par la Gendarmerie Nationale (Union Routière Française [2007]). Pour appréhender les différences de réseaux routiers, nous supposons que les coûts de congestion (calculés pour les différentes approches de l'externalité) sont supérieurs de 56% sur le reste du réseau francilien par rapport à ceux du boulevard Périphérique⁵⁵. Sachant que la région Ile-de-France

55. D'après Leurent et al. [2009], le coût marginal régional moyen est 3,35 minutes par kilomètre. Celui des "grandes artères de circulation à accès limité", infrastructure s'apparentant le plus au boulevard Périphérique, est de 2,15 minutes. Nous faisons une hypothèse forte en supposant que les différences de coût marginal entre le boulevard Périphérique et le reste du réseau approximent les différences de coûts liés à l'externalité de congestion.

concentrait 80% des embouteillages nationaux en 2005 (Union Routière Française [2007]), nous déduisons les coûts de congestion à l'échelle de la France. à cette dernière étape, les différences de réseaux sont négligées. La valeur du temps est toutefois dépréciée de 20% hors de la région capitale, conformément aux recommandations officielles (Commissariat Général du Plan [2001], Quinet and Vickerman [2004]). Les résultats du tableau (2.10) considèrent pour la France un PIB de 1895,3 milliards d'euros en 2007. Le PIB de l'Ile-de-France est de 29% ce chiffre, le revenu régional de 22% (Davezies [2008b]).

Le "mal" que représente l'externalité de congestion routière voit son importance varier de un à quinze selon les approches concurrentes. La vision "par le coût marginal" estime ainsi à 0,8% du PIB français le coût des automobilistes "en trop" là où celle "économique" obtient 0,05%. Les visions "naïve" et "internalisante" s'élèvent quant à elles à respectivement 0,12% et 0,13%. A l'instar de la distinction entre coût marginal et taxe optimale, la définition des pertes de bien-être peut donc foncièrement biaiser les débats entourant la congestion routière.

Cette mesure de 0,05% constitue une borne inférieure des estimations existantes. On pourrait en effet considérer que la valeur du temps retenue dans cet essai est basse par rapport à d'autres proposées pour l'Ile-de-France (de Palma and Zaouali [2007]). La définition des "emcombres" retenue par la Gendarmerie Nationale néglige par ailleurs la congestion en milieu urbain, certainement très coûteuse⁵⁶. Néanmoins, 0,05% du PIB français représente environ un milliard d'euros, soit un dixième du déficit de la Sécurité Sociale en 2007. Le coût d'opportunité n'est donc pas négligeable pour la société. Ce ratio de 0,05% souligne surtout que la congestion routière est coûteuse pour une faible part de l'utilisation totale des routes. L'approche "hybride" rappelle ainsi que les pertes imputables à l'externalité sont somme toute modérées une fois rapportées à l'ensemble du temps passé dans un véhicule automobile. Finalement, le changement d'échelle territoriale interpelle. La lutte contre

56. Laurent et al. [2009] proposent un coût marginal moyen de congestion dans Paris de 5,11 minutes par kilomètre, soit plus de deux fois les pertes pour les "grandes voies de circulation à accès limité" dans Paris.

la congestion routière apparaît plus primordiale pour la région Ile-de-France. Les pertes de temps issues de l'utilisation sous-optimale des routes représentent 0,14% et 0,18% des PIB et revenu régionaux, soit une destruction de surplus économique trois à quatre fois plus grande qu'au niveau national.

Tableau 2.10 – Ampleur (et diversité) du coût agrégé de congestion routière, 2007

	"Demande unique"	"Temporel"	"Route vide"	"Internalisante"	"Coût marginal"	"Hybride"
Coûts congestion (M euros) :						
Périphérique	67,4	160,8	398,1	465,8	2590,0	588,8
Ile-de-France	318,6	760,1	1887,6	2002,0	12243,6	2785,3
France	369,6	881,8	2189,6	2554,3	14202,6	3231,0
Ratio coûts congestion par rapport (%) :						
PIB France	0,02%	0,05%	0,12%	0,13%	0,75%	0,17%
PIB Ile-de-France	0,06%	0,14%	0,34%	0,40%	2,23%	0,51%
Rev Ile-de-France	0,08%	0,18%	0,45%	0,53%	2,94%	0,67%

Sources : *Calculs de l'auteur, Union Routière Française [2007] et Leurent et al. [2009]*

2.7 CONCLUSION

Cet essai appelle des prolongements futurs. Il semble ainsi intéressant de regarder comment a pu varier la relation vitesse-densité entre 2000 et 2007 ou de comparer nos résultats avec ceux qui proviendraient d'une (ou de plusieurs) relations vitesse-flux. L'analyse des transferts de surplus économique induits par l'introduction d'un péage de congestion nécessiterait un travail à part entière. Malgré ces manques, nous pensons que nos conclusions sont suffisamment robustes sur certains points.

La congestion routière est une externalité dont le coût "économique" dépend grandement de la vitesse de circulation, elle-même fonction de l'utilisation des routes. Son étude ne peut donc pas reposer sur une utilisation unique (et moyenne) de l'infrastructure, au risque d'oublier les pertes de temps lorsque celles-ci sont les plus importantes. Par ailleurs, l'ampleur des divergences d'opinions sur le coût de cette "défaillance de marché" est considérable. Si cet essai s'est efforcé de toujours guider le lecteur, il rare que les références servant aux calculs des coûts de congestion routière soient explicitées une fois les estimations soumises au débat public.

Outre la "régulation par les prix", des politiques alternatives existent pour lutter contre la congestion routière en Ile-de-France. Pour clore ce travail, nous en donnons maintenant deux exemples.

Les déplacements étant en grande part pour des motifs "domicile-travail", il serait d'abord possible d'utiliser l'arme foncière afin de rapprocher les résidences des emplois, notamment dans la zone centrale de l'agglomération. Korsu and Massot [2006] estiment ainsi qu'environ 8% des déplacements régionaux seraient "économisés" si on arrivait à rendre plus "cohérente" l'agglomération. Fruit d'un défaut de coordination individuelle, notons également que la congestion routière pourrait être considérablement réduite en améliorant la coopération entre les voyageurs, à l'instar de pratiques telles que le co-voiturage (Orfeuill [2008b]). Tous les calculs présentés dans cet

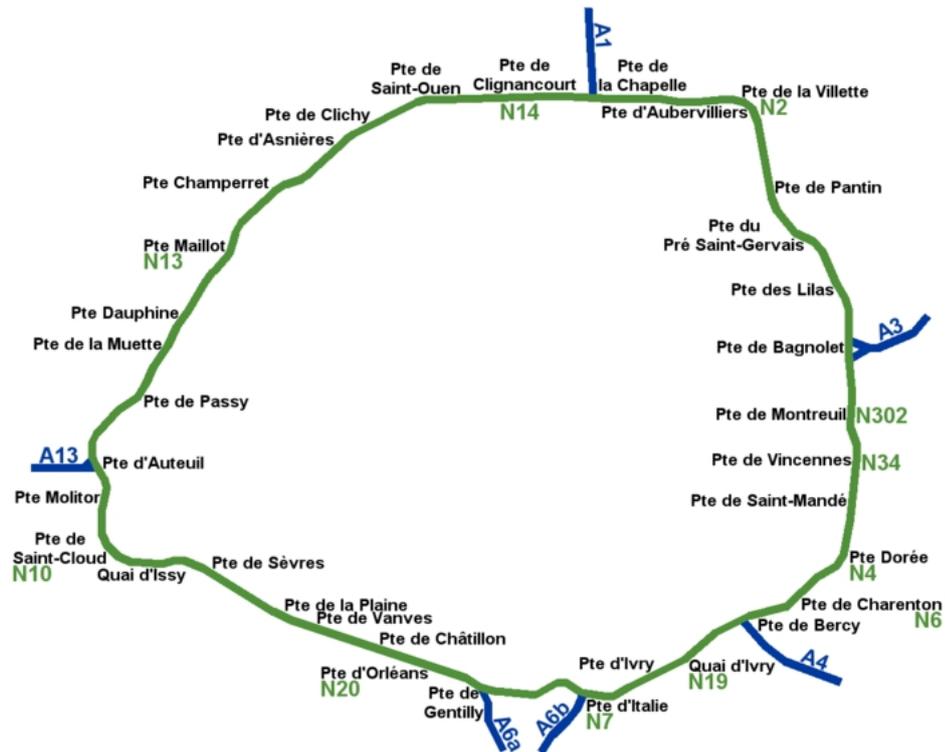
Conclusion

essai considérait un taux d'occupation des véhicules de 1,3. Avec un taux moyen à 2 passagers par véhicules, le nombre de kilomètres parcourus sur le boulevard Périphérique pourrait baisser de 33%⁵⁷. S'il néglige le trafic "induit", ce dernier résultat offre de belles perspectives, quelle que soit la définition retenue de la congestion routière.

57. Pour 2007, 2298 M de kilomètres représentaient 2531 *passager × kilomètres*. En supposant invariant le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules utilitaires (529 M kilomètres), Les 2002 *passager × kilomètres* deviennent 1001 *véhicule × kilomètres* avec un taux d'occupation des véhicules de 2. On a donc 1530 M de *véhicule × kilomètres* en 2007.

2.8 ANNEXES

2.8.1 CARTE DU BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE



Graphique 2.5 – Carte du boulevard Périphérique

2.8.2 LE DÉCOUPAGE GÉOGRAPHIQUE DU BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE

Le découpage géographique que nous avons retenu pour les différentes zones composant le boulevard Périphérique est le suivant :

1. Nord : de Porte Champerret à Porte Chaumont (10 kilomètres)
2. Est : de Prés Saint-Gervais à Canal (8 kilomètres)
3. Sud : de Quai d'Ivry à Quai d'Issy (10 kilomètres)
4. Ouest : De Pontaval à Ternes (7,5 kilomètres)

Le tableau (2.11) présente les relations vitesse-densité obtenues pour ces différentes zones géographiques :

Tableau 2.11 – Relations vitesse-densité

Zone	Relation technologique	R²
Nord	$v(q) = 93,2 - 0,25q$	0,76
Est	$v(q) = 91,00 - 0,25q$	0,78
Sud	$v(q) = 85,35 - 0,26q$	0,74
Ouest	$v(q) = 92,39 - 0,25q$	0,79

Source : Calculs de l'auteur

2.8.3 LES GAPS ENTRE UTILISATION EFFECTIVE ET OPTIMALE DU BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE DURANT LES HEURES DE POINTE

Le tableau (2.12) décrit les gaps d'utilisation entre équilibres effectif et optimal sur le boulevard Périphérique durant les heures de pointe. Contrairement aux gaps présentés dans le tableau (2.4), ceux-ci ont été déterminés à l'aide d'une élasticité prix de la demande inférieure (-0,4) et une valeur du temps supérieure (13,4 euros/heure) :

Tableau 2.12 – Gaps entre situations effectives et optimales durant les heures de pointe

Situation effective			Situation optimale		
Vitesse	Densité	Flux	Vitesse	Densité	Flux
2,5	347	867	13,1	305	4002
7,5	327	2454	21,5	272	5840
12,5	307	3843	26,8	251	6722
17,5	288	5035	31,1	234	7273
22,5	268	6028	34,9	219	7638
27,5	248	6824	38,4	205	7876
32,5	228	7423	36,4	213	7752
37,5	209	7824	45,3	178	8055
42,5	189	8027	48,8	164	8002
47,5	169	8033	52,3	150	7850
52,5	149	7841	56,1	135	7578
57,5	130	7451	59,9	120	7191
62,5	110	6864	64,2	103	6615
67,5	90	6079	68,5	86	5893
72,5	70	5096	73,1	68	4970
> 75	18	1521	85,7	18	1543

Avoir les coudes serrés dans le métro parisien : étude du goût pour le confort des déplacements

3.1 INTRODUCTION

Les économistes considèrent les décisions individuelles de mobilité comme le résultat d'un "arbitrage entre temps et argent" (Leroy and Sonstelie [1983], Small and Verhoef [2007], De Borger and Fosgerau [2008]). Pour se rendre d'une localisation A à une localisation B, les agents sont ainsi supposés choisir le mode et/ou la route qui minimisent le "coût généralisé" de leur déplacement, celui-ci se composant d'une partie monétaire fixe (l'assurance, le coût d'utilisation d'un véhicule, les titres de transport...) et d'une part variable (le coût d'opportunité du temps de déplacement)¹. Étant donnée leur forte vélocité, il est dans ce cadre rationnel que les individus choisissent (le plus souvent) les voitures pour se déplacer, celles-ci réduisant considérablement la durée des voyages. En raison de leur importance dans le temps éveillé quotidien, la dimension "consommation" des activités de transport ne peut cependant être négligée.

1. Les choix de transports peuvent également être analysés au travers des bénéfices qu'ils offrent, voir la littérature sur le "transit oriented development" (Cervero, Ferrel, and Murphy [2002], Dittmar and Ohland [2003]).

S'inspirant de la "psychologie du temps" (Roeklele [2000]), certains économistes proposent aujourd'hui une approche reposant sur le concept de "temps perçu" (Li [2003], Litman [2008], Li and Hensher [2011])². Comprendre comment les individus perçoivent leurs temps de déplacement semble ainsi nécessaire à une description pertinente de leurs choix. Certains voyageurs, en premier lieu les automobilistes, ont tendance à être mal informés des avantages temporels offerts par les modes de transport concurrents (Kingham, Dickinson, and Copsey [2001], Kenyon and Lyons [2003], Van Exel and Rietveld [2010]). Une information imparfaite peut alors conduire à des choix irrationnels par rapport à un "arbitrage entre temps et argent" qui reposerait sur l'unique durée objective des déplacements.

À côté de cet "effet inter-mode", une littérature de plus en plus abondante (Transportation Research Board [1999], Wardman [2001], Mackett, Paulley, Preston, Shires, Titheridge, Wardman, White, and Balcombe [2004], Litman [2008], Li and Hensher [2011], Wardman [2004], Wardman and Whelan [2011]), dont fait partie cet essai, s'intéresse aux attributs qualitatifs offerts par chaque mode de transport. Pour le dire simplement, "l'expérience" que constitue un voyage, la manière dont est "consommé" le temps important : des conditions de transport variables peuvent conduire à un biais entre temps objectif et temps perçu du voyage. Ce biais se traduit dans l'utilité individuelle par des coûts d'opportunité du temps - et donc des "coûts généralisés" - différents. L'enjeu est alors d'appréhender ces attributs qualitatifs et d'en mesurer l'importance pour les intégrer aux analyses économiques des choix de transport.

Une dimension essentielle des déplacements réalisés en transport public concerne l'espace disponible pour les voyageurs à l'intérieur des véhicules, i.e. la densité de passagers. Il s'agit de notre instrument pour le confort des déplacements dans le reste de cet article³. Considérer la densité de voyageurs lors de l'analyse des déplace-

2. Li [2003] reprend les différents apports de la psychologie du sur le thème de la "perception du temps" et propose un cadre conceptuel pour les transposer à l'analyse économique des choix de transports.

3. Les autres attributs essentiels sont l'information pour les voyageurs, la sécurité, la maintenance et le design des véhicules, la fiabilité du service, les temps d'accès et d'attente en stations (Transportation Research Board [1999], Mackett et al. [2004], Litman [2008], Wardman [2004]). Ces dimensions

ments en transport public semble important dans la mesure où leur encombrement provient parfois des politiques visant à réduire l'utilisation des automobiles dans les centre-villes. Ceci est particulièrement vrai pour les réseaux de transports publics reposant principalement sur les métros, mode de transport caractérisé par une faible élasticité de l'offre vis à vis de la demande en raisons des coûts financiers des investissements et/ou de la géologie des aires urbaines. Dans ces villes, un report modal trop important vers le réseau de métros risque de se traduire par une baisse du confort des déplacements.

A l'extrême, le réseau va atteindre son "goulot d'étranglement" (Transportation Research Board [1999], Arnott and Yan [2000], Kraus and Yoshida [2002], Kraus [2003], Leurent and Askoura [2010]), i.e. situation telle que les infrastructures rencontrent leurs contraintes de capacité. Dans ce cas, les pertes de temps objectif augmentent : temps pour accéder aux quais et attendre les trains, temps pour monter/descendre des véhicules, retards cumulatifs sur les lignes à cause des ralentissements. Toutefois, les études de "satisfactions déclarées" montrent qu'une utilisation plus importante des métros rend leur utilisation plus coûteuse pour les voyageurs, et ce avant même que l'infrastructure ne se transforme en un "goulot" (Cantwell et al. [2009]). L'encombrement des véhicules est en effet lié à de nombreuses gênes pour les usagers : ne pas pouvoir s'asseoir, le stress des retards, les risques de vols ou d'accidents, les efforts nécessaires à accéder aux trains, les éventuelles préoccupations hygiénistes (Li [2003], Wener et al. [2005], Evans and Wener [2007], Litman [2008]). Un excès de voyageurs dans les trains empêche également une utilisation polychronique des temps de déplacements et force les individus à ajuster leurs heures de départ ou d'arrivée (de Palma et al. [2011]).

Le report modal vers les métros peut donc provoquer une "externalité inter-mode" particulièrement intéressante (Mohring [1972], Mirabel [1999])⁴. Même si la nature

jouent sur les coûts d'opportunité du temps "en" et "hors" des véhicules. La densité peut affecter les deux.

4. Mohring [1972] a popularisé le concept d'"externalité inter-mode" : le choix individuel de changer de réseau de transport peut générer une externalité pour les utilisateurs des réseaux. Si la demande

de la perte de bien-être diffère, il est possible de l'assimiler au pendant de l'externalité de congestion routière. A moyen terme, l'"externalité inter-mode" peut ainsi affaiblir le report modal résultant des politiques "anti-voiture" en augmentant le temps perçu et le "coût généralisé" des déplacements (Litman [2008]). Par ailleurs, les évaluations économiques des projets de transport gagneraient à prendre en compte le fait qu'une augmentation de l'offre d'infrastructures conduit à des conditions de transport plus confortables, i.e. des gains de bien-être pour les usagers (Litman [2008], Li and Hensher [2011]). Le réseau de métros parisiens constitue une bonne étude de cas pour appréhender et valoriser le confort des déplacements.

Malgré l'étalement de la population et de l'activité au sein de l'Ile-de-France (Shearman and Alvergne [2003], Gilli and Offner [2009]), la municipalité de Paris concentrait plus de 30% de l'emploi régional en 2000, pour environ 20% de la population active. Ceci implique une forte demande de mobilité locale : à cette date, environ 1 million de franciliens allaient et venaient quotidiennement dans Paris pour y exercer un emploi (Jabot [2006]). Même si le réseau ferré (métros parisiens et trains régionaux), dont le maillage est un des plus fins au monde, accueillait 50% des déplacements en 2000 - mesurés en *passager × kilomètre*, pkm plus loin - ayant Paris pour origine et/ou pour destination (Kopp [2011]), la congestion routière et les nuisances liées aux automobiles restaient des préoccupations centrales pour les Parisiens et les décideurs publics. L'équipe municipale élue en 2001 mena par conséquent une politique des transports très active. Une importante réduction de l'espace viaire disponible pour les voitures (-25% environ, Prud'homme and Kopp [2008]) fut ainsi associée à une redistribution de ce même espace en faveur des bus, des tramways et des modes de transports non motorisés ainsi qu'à un changement de tarification des stationnements sur la voirie publique.

Ces différentes mesures ont participé à substantiellement modifier le choix modal des voyageurs. En raison d'une forte baisse de la vitesse de circulation (-10%), et

de bus augmente par exemple, l'opérateur peut augmenter l'offre de bus en circulation. Ceci fait baisser le temps d'attente et rend les bus encore plus attractifs par rapport aux véhicules automobiles.

donc du renchérissement du "coût généralisé" de leur utilisation, le nombre de kilomètres parcourus dans Paris en voiture s'est réduit de 24% entre 2000 et 2007. Dans le même temps, le réseau ferré a vu ses parts modales augmenter et comptait pour 58% des déplacements intéressant la municipalité en 2007 (Kopp [2011])⁵. Cette dernière évolution n'a toutefois pu être soutenue par une offre de transports ferrés équivalente. Dans cet essai, nous nous concentrons sur le réseau de métros parisiens. Alors que la demande s'y est accrue de 13% entre 2002 et 2007, l'offre - mesuré en *place × kilomètre* - n'a augmenté que de 4% (RATP [2003] et RATP [2008]). La densité moyenne de passagers dans le métro parisien a par conséquent connu une croissance de 8%⁶.

Tableau 3.1 – Offre et demande de métros parisiens, 2002-2007

	2002	2007	Évolution (%)
Offre (milliards de <i>place × kilomètre</i>)	25,4	26,4	4%
Demande (milliards de <i>passager × kilomètre</i>)	6,2	6,7	13%
Demande/Offre	0,243	0,264	8%

Sources : RATP [2003] et RATP [2008]

La détérioration du confort des déplacements a nourri le mécontentement croissant des usagers du métro parisien. Il ressort ainsi d'études qualitatives que les mauvaises conditions de transport sont un des facteurs participant le plus à dégrader les conditions de travail des franciliens (Technologia [2010], ORSTIF [2010]). La thématique des transports fut par ailleurs au coeur des débats lors des dernières élections locales, qu'elles soient municipales (2008) ou régionales (2010). Sur le réseau régional, la situation n'est en effet guère plus encourageante. La hausse de la fréquentation (+12,5%) s'y est traduite par des retards croissants, dûs notamment à des pannes matérielles de plus en plus nombreuses (Debrincat et al. [2006]), faisant craindre que le réseau régional n'ait rencontré sa contrainte de capacité. Les origines modales des

5. Les autres changements notables sont la hausse des déplacements en motos (+36%) ainsi que la baisse de l'utilisation des bus (-16%).

6. Le ratio "Demande/Offre" du tableau (3.1) se transforme en densité en considérant que le nombre de "places" est calculé par la RATP à avec 4 voyageurs/ m^2 .

nouveaux usagers du vélo, des motos et du tramway (CCTN [2009], Kopp [2011], Prud'homme et al. [2011]) laissent finalement penser que le confort des déplacements et la perception du temps sont des concepts à considérer lors de l'analyse du choix modal. La plupart des nouveaux usagers de ces modes viennent en effet du métro. Celui-ci a essentiellement vu le confort de ses déplacements se dégrader si on se réfère à l'indice "qualité service"⁷.

L'objectif de cet essai est triple. Dans la section (3.2), nous proposons un modèle de choix modal prenant en compte le confort des déplacements comme argument de l'utilité des voyageurs. Cette dimension est rarement considérée dans les travaux sur la mobilité en Ile-de-France (de Lapparent [2005], de Palma and Lindsey [2006], Bureau and Glachant [2008], Wenglenski [2007]). En dépit de sa simplicité, notre modèle permet de cibler les influences des "externalités inter-mode" sur les décisions individuelles au travers des changements du "temps perçu". Dans la section (3.3), nous présentons brièvement la méthode d'évaluation contingente (Mitchell and Carson [1989], Haab and McConnel [2003], Luchini [2003], D4E [2004]), outil permettant d'étudier les "préférences déclarées" des usagers des transports ferrés et de valoriser le confort des déplacements (Li and Hensher [2011], Wardman and Whelan [2011]). La section (3.4) décrit ensuite notre enquête de terrain sur les quais de la ligne 1 ainsi que les statistiques descriptives de notre panel de 530 voyageurs, notamment les réponses à la question de valorisation du confort. La section (3.5) présente alors la stratégie empirique et les résultats de l'étude économétrique du "consentement à payer pour le confort des déplacements". Finalement, la section (3.6) revient sur certaines implications de politiques publiques⁸. Bien que des valorisations du confort des déplacements aient été indirectement proposées pour le réseau ferré régional (Debrincat et al. [2006]), il est officiellement recommandé de majorer de 50% le coût d'opportunité du temps lorsqu'il est impossible de s'asseoir dans les trains (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Équipement [2005]). Étant donnée

7. Dans le cas des vélos, le lien semble qualitativement confirmé, voir la Conclusion Générale.

8. Ces implications de politiques publiques sont complémentaires à celles de Prud'homme et al. [2010] qui utilisent la même base de données.

l'importance des investissements en infrastructures programmés pour la région Ile-de-France, il semble important d'avoir une meilleure idée des gains de bien-être dont bénéficieraient les usagers du métro parisien avec des déplacements plus confortables, i.e. un des objectifs des nouvelles infrastructures⁹. La section (3.7) conclue.

3.2 UN MODÈLE DE CHOIX MODAL INTÉGRANT LE CONFORT DES DÉPLACEMENTS

3.2.1 LE CONFORT DANS LA MODÉLISATION DES CHOIX DE TRANSPORT

Observant que le coût privé d'utilisation des automobiles est, dans de nombreux pays, inférieur à leur coût social (Parry and Small [2005]), la littérature contemporaine sur le choix modal s'est essentiellement tournée vers les stratégies de "régulation par les prix", i.e. les péages de congestion ou environnementaux (Tsekeris and Voss [2009], Lindsey [2006]), ou vers le "two modes problem" (Arnott and Yan [2000], Kraus and Yoshida [2002], Kraus [2003]). Ce dernier peut se résumer ainsi : "Comment tarifier les transports publics et déterminer leurs capacités, ainsi que celles des infrastructures routières, afin de minimiser les pertes de ressources dûes au fait que les véhicules automobiles soient sous-tarifés?" (Kraus [2003]).

A l'aide d'un modèle de "goulot d'étranglement" pour les deux modes (Kraus and Yoshida [2002]), Kraus [2003] propose des formes réduites suggérant qu'une augmentation du nombre de trains desservant un axe et/ou la capacité individuelle des véhicules conduisent à des équilibres de "second rang". Sans retenir de "goulot", Proost and Dender [2008] aboutissent à des résultats similaires concernant la fréquence des

9. Au moment d'écrire ces lignes, il était décidé la construction d'une nouvelle infrastructure ferrée ayant pour tracé (tangential à Paris) un mélange des deux projets historiquement concurrents. Ainsi, la nouvelle ligne ira aussi bien dans certaines zones de la Petite Couronne (projet de la région) qu'au travers la Grande Couronne (projet supporté par l'Etat). Étant donnée la structure actuelle du réseau ferré régional, "en étoile" avec Paris comme centre, cette nouvelle infrastructure désengorgera certaines lignes de métros parisiens en facilitant les déplacements tangentiels à la capitale. La livraison finale est prévue pour 2023.

bus. Parry and Small [2009] se concentrent quant à eux sur le niveau des subventions à accorder aux transports publics afin de se rapprocher de la répartition modale optimale. Prenant en compte différentes externalités des réseaux de transports, ils concluent analytiquement, et confirment empiriquement, que des subventions dépassant 50% des coûts monétaires supportés par les voyageurs sont "pareto améliorantes".

Notre modèle n'a pas pour but de comparer les équilibres de "premier" et de "second rang" en présence de coûts liés à l'encombrement des métros (Prud'homme et al. [2010]). Son objectif est plus descriptif. Nous adoptons une approche simplifiée pour isoler l'effet du confort dans les trains sur le temps perçu des déplacements et sur le choix modal des individus¹⁰. Bien qu'ils identifient le phénomène depuis Kraus [1991], les modèles du "two modes problem" ne traitent pas explicitement de l'impact qualitatif de la densité de voyageurs sur l'"expérience" que constitue l'utilisation des transports publics, notamment durant leurs applications empiriques. Parry and Small [2009] par exemple prennent des valeurs insignifiantes pour les coûts marginaux d'encombrement des véhicules lorsqu'ils calibrent leur modèle de répartition modale. Pour Proost and Dender [2008], ces coûts marginaux sont nuls. La forte valorisation faite du confort dans d'autres études (voir la section (3.3)) tout comme nos propos introductifs attestent cependant que des conditions de transport plus pénibles sont plus coûteuses pour les individus. Et ce bien avant que le réseau ne rencontre sa contrainte de capacité.

Des travaux récents vont dans ce sens. Adoptant une approche "dynamique" du phénomène de congestion, de Palma et al. [2011] montrent ainsi que les individus arbitrent entre les coûts d'inconfort en véhicule et celui de leurs "efforts" pour arriver en station : selon la plus ou moins grande flexibilité qu'ont les voyageurs pour arriver à destination, ils peuvent décaler leur départ afin d'être dans des véhicules moins remplis (et avoir une place assise notamment). Certains modèles de choix d'itiné-

10. Nous n'intégrons ni offre d'infrastructures endogène ni contrainte budgétaire du gouvernement.

raire supposent également une relation croissante entre "coût généralisé" et nombre de voyageurs dans les trains (Leurent and Liu [2009]). Lorsque ceux-ci sont trop bondés, les individus peuvent décider de changer de routes. Ils rallongent alors leurs déplacements afin de bénéficier d'une plus grande fiabilité des horaires d'arrivées et de conditions de voyage plus confortables (Leurent and Liu [2009]). Notre modèle aborde quant à lui le lien entre "externalités inter-mode" et choix modal.

3.2.2 LE MODÈLE

Considérons une ville composée de N habitants représentatifs, chacun devant choisir entre les véhicules automobiles (indexés a) ou les transports publics (m) pour se rendre sur leurs lieux de travail. Chaque système de transport est caractérisé par une offre exogène (espace viaire Q_s^a ou capacité des transports publics Q_s^m). Les individus choisissent le mode leurs procurant la plus grande utilité :

$$u_{ij} = v_j(p_j, t_j^p, x_i) + \varepsilon_{ij} \quad (3.1)$$

pour $j \in (m, a); i \in (1, \dots, N)$.

La composante déterministe de l'utilité (v_j) est décroissante avec les coûts monétaires des transports (p_j) et avec le temps perçu de déplacement (t_j^p). Le vecteur (x_i) décrit les caractéristiques individuelles. Finalement, le terme d'erreur (ε_{ij}) peut être interprété comme un goût individuel pour les modes de transport invariant par rapport aux changements des autres variables.

Le temps perçu est représenté par une fonction intégrant le temps objectif de déplacement (t_j^o) ainsi que l'appréciation (subjective) du niveau de confort (c_j) :

$$t_j^p(t_j^o, c_j) \quad (3.2)$$

$$\text{avec } \frac{\partial t_j^p}{\partial t_j^o} > 0 \text{ et } \frac{\partial t_j^p}{\partial c_j} < 0.$$

Notre hypothèse centrale est qu'une demande de transport plus importante diminue le niveau de confort, surtout dans les transports publics. Nous écrivons donc :

$$c_j(Q_j^S, N_j) \quad (3.3)$$

$$\text{avec } \frac{\partial c_j}{\partial N_j} < 0.$$

Par ailleurs, le temps objectif de déplacement (t_j^o) est significativement influencé par la proportion de personnes utilisant les modes de transport, notamment pour le réseau routier :

$$t_j^o(Q_j^S, N_j) \quad (3.4)$$

$$\text{avec } \frac{\partial t_j^o}{\partial N_j} > 0.$$

Les équations (3.3) et (3.4) correspondent à des externalités de congestion. On observe ainsi que l'utilité individuelle est influencée par les décisions des autres via deux canaux : la vitesse d'un déplacement et le confort. Ces deux dimensions jouent sur le choix modal. Nous pouvons réécrire le temps perçu comme une fonction (t_j^p) de l'offre et la demande de chaque mode :

$$t_j^p = t_j^p(Q_j^S, N_j) \quad (3.5)$$

$$\text{avec } \frac{\partial t_j^p}{\partial N_j} = \frac{\partial t_j^p}{\partial t_j^o} \frac{\partial t_j^o}{\partial N_j} + \frac{\partial t_j^p}{\partial c_j} \frac{\partial c_j}{\partial N_j} > 0.$$

3.2.3 POLITIQUES DE REPORT MODAL ET CONFORT DANS LES TRANSPORTS PUBLICS

Les décideurs peuvent chercher à rendre les transports publics plus attractifs afin d'inciter les individus à les utiliser. En utilisant la formulation de l'utilité aléatoire, on peut écrire :

$$Pr(u_{i,m} > u_{i,a}) = Pr(\varepsilon < v_m - v_a) \quad (3.6)$$

avec $\varepsilon \equiv \varepsilon_a - \varepsilon_m$.

D'après l'équation (3.6) :

$$Pr(u_{i,m} > u_{i,a}) = F_\varepsilon(\varepsilon) \quad (3.7)$$

En faisant des hypothèses sur la distribution du terme d'erreur combiné, il est possible d'identifier les facteurs qui influencent le choix modal et discuter ainsi l'efficacité des politiques de report modal.

L'instrument le plus souvent mis en avant par les économistes afin de jouer sur les choix modaux est la "régulation par les prix", i.e. augmenter le prix d'utilisation des véhicules automobiles via des péages, des taxes sur les carburants ($\Delta p_a > 0$) ou des subventions pour les transports publics ($\Delta p_m < 0$). Nous nous intéressons plus aux politiques de "régulation par les quantités" : les aménageurs peuvent décider soit de réduire la taille de la voirie disponible pour les véhicules automobiles - comme réalisé à Paris - ($\Delta Q_a^S < 0$), soit d'investir dans des capacités additionnelles des transports publics ($\Delta Q_m^S > 0$).

Par ailleurs, nous faisons l'hypothèse que :

1. Les coûts monétaires des déplacements sont fixes conditionnellement au temps perçu de déplacement : $\Delta p_j = 0$.
2. La vitesse des transports publics est indépendante du niveau de fréquentation de ce mode : $\Delta t_m^o = 0$. A court terme, cette hypothèse revient à considérer que le réseau n'est pas dans une situation de "goulot d'étranglement". Nous relâchons cette hypothèse dans un second temps.
3. Le confort des déplacements automobiles entre de manière indépendante dans la fonction d'utilité : $\Delta c_a = 0$.
4. En contrôlant pour (p_j) , les utilités marginales du temps perçu deux modes s'égalisent : $\frac{\partial u_a}{\partial t_a^o} = \frac{\partial u_m}{\partial t_m^o}$.

Nous pouvons maintenant analyser comment une réduction de l'espace viaire disponible pour les automobiles ($\Delta Q_a^S < 0$) influence la fraction de la population préférant les transports publics aux véhicules automobiles ? Cette fraction est décrite par $F_\varepsilon(\varepsilon)$ dans l'équation (3.7) :

$$\frac{\partial F_\varepsilon(\varepsilon)}{\partial Q_a^S} = f(\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial Q_a^S} = f(\varepsilon) \frac{\partial (v_m - v_a)}{\partial Q_a^S} \quad (3.8)$$

En simplifiant l'expression par rapport au temps perçu du déplacement, nous trouvons :

$$\frac{\partial F_\varepsilon(\varepsilon)}{\partial Q_a^S} = f(\varepsilon) \left[\frac{\partial v_m}{\partial c_m} \left(\frac{\partial c_m}{\partial N_m} \frac{\partial N_m}{\partial Q_a^S} \right) - \frac{\partial v_a}{\partial t_a^o} \left(\frac{\partial t_a^o}{\partial Q_a^S} - \frac{\partial t_a^o}{\partial N_m} \frac{\partial N_m}{\partial Q_a^S} \right) \right] \quad (3.9)$$

En normalisant $N = 1$ de telle sorte que $N_m = F_\varepsilon(\varepsilon)$ et en rassemblant les différents termes :

$$\frac{\partial N_m}{\partial Q_a^S} = - \frac{f(\varepsilon) \frac{\partial v_a}{\partial t_a^o} \frac{\partial t_a^o}{\partial Q_a^S}}{1 + f(\varepsilon) \left[\frac{\partial v_a}{\partial t_a^o} \frac{\partial t_a^o}{\partial N_m} - \frac{\partial v_m}{\partial c_m} \frac{\partial c_m}{\partial N_m} \right]} \quad (3.10)$$

L'équation (3.10) indique que la politique de "régulation par les quantités" aboutit à une augmentation de l'utilisation des transports publics ($\frac{\partial N_m}{\partial Q_a^S} > 0$). Le numérateur correspond à l'effet direct de la politique : l'utilité du mode automobile décroît avec la vitesse de circulation, qui est plus basse en raison de la congestion routière induite par un espace viaire moindre (pour un nombre donné d'automobilistes), augmentant donc la durée objective du déplacement ($\frac{\partial v_a}{\partial t_a^o} \frac{\partial t_a^o}{\partial Q_a^S} < 0$).

Nous considérons également l'impact de la hausse de la fréquentation du réseau de transport public sur l'utilité des utilisateurs de ce mode. Le dénominateur met en évidence deux effets modérateurs liés au report modal vers les transports publics. Le premier terme indique qu'une hausse de la fréquentation va baisser la vitesse des véhicules automobiles un peu moins que cela aurait pu être par ailleurs. Cet effet représente le bénéfice marginal de décongestion routière ($\frac{\partial v_a}{\partial t_a^o} \frac{\partial t_a^o}{\partial N_m} > 0$). Le second terme décrit l'"externalité inter-mode" liée au confort : un report modal vers les transports publics moindre en raison d'un encombrement supérieur du réseau. Ce second effet se caractérise par le coût marginal d'encombrement des transports publics ($\frac{\partial v_m}{\partial c_m} \frac{\partial c_m}{\partial N_m} < 0$).

$$\frac{\partial N_m}{\partial Q_a^S} = - \frac{f(\varepsilon) \frac{\partial v_a}{\partial t_a^o} \frac{\partial t_a^o}{\partial Q_a^S}}{1 + f(\varepsilon) \left[\frac{\partial v_a}{\partial t_a^o} \frac{\partial t_a^o}{\partial N_m} - \frac{\partial v_m}{\partial c_m} \frac{\partial c_m}{\partial N_m} - \frac{\partial v_m}{\partial t_m^o} \frac{\partial t_m^o}{\partial N_m} \right]} \quad (3.11)$$

En considérant maintenant que le réseau de transports publics fait face à sa contrainte de capacité, nous obtenons l'équation (3.11). Elle décrit logiquement un report modal encore plus faible en réponse à la politique de réduction de la voirie. L'utilité des déplacements en transports publics est désormais affectée par deux effets de congestion : l'effet confort commenté précédemment et les pertes de temps objectif dues aux délais supplémentaires en station ou en véhicule ($\frac{\partial v_m}{\partial t_m^o} \frac{\partial t_m^o}{\partial N_m} < 0$). La pertinence de l'effet "goulot d'étranglement" va fortement dépendre de la répartition modale effective au moment où la politique de "régulation par les quantités" est lancée. Les pertes de temps marginales liées au "goulot" sont en effet négligeables pour la plupart des

niveaux intermédiaires d'utilisation du réseau. Il en est différent du coût marginal d'encombrement qui est positif qu'il devient impossible de s'asseoir dans les trains. De même, la sensibilité de la population aux changements induits par les politiques des transports entreprises sera fonction de l'intensité des préférences des utilisateurs au moment où la politique est lancée, i.e. la variance de la distribution de (ε) .

En dépit de sa simplicité¹¹, notre modèle introduit une externalité de congestion dans les transports publics en phase avec les plaintes des utilisateurs de réseaux encombrés. Lié au confort des déplacements, cet effet externe réduit le report modal en augmentant le temps perçu, et donc le "coût généralisé" de la mobilité. Un corollaire de ce résultat est que le niveau optimal d'utilisation des transports publics sera plus faible en présence d'un "goût pour le confort" des voyageurs (Prud'homme et al. [2010]).

Nous pouvons maintenant étudier la taille et les déterminants de celui-ci en utilisant la méthode d'évaluation contingente. Les données issues de notre enquête de terrain permettront en effet d'approximer l'effet externe d'encombrement dans le métro, paramètre d'une grande utilité pour l'évaluation économique des politiques de transport (voir la section (3.6)).

3.3 ÉVALUATION CONTINGENTE DU CONFORT DES DÉPLACEMENTS EN MÉTRO

3.3.1 LA MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION CONTINGENTE

Afin de tendre vers l'"internalisation" des externalités générées par les "biens hors-marché", les économistes ont proposé des méthodes permettant de les valoriser.

11. Les extensions potentielles portent sur les choix conditionnels entre différents modes de transport public ("nested choices"), inclure les choix de résidence (Kilani, Leurent, and De Palma [2010]), introduire de l'hétérogénéité dans les valeurs du temps, endogénéiser le "goût pour le confort" des automobilistes, lier les décisions d'investissements à une contrainte budgétaire et/ou au processus politique (Brueckner and Selod [2006]).

Deux grandes stratégies ont progressivement émergé. Tandis que la première repose sur l'observation des comportements individuels ("préférences révélées" ¹², la seconde porte sur les "préférences déclarées" d'agents économiques confrontés à des scénarios hypothétiques. La méthode d'évaluation contingente fait partie de cette seconde approche (Mitchell and Carson [1989], Haab and McConnel [2003], D4E [2004], Luchini [2003], Flachaire and Hollard [2007]).

Considérons la fonction d'utilité indirecte ($u_{i,s}$) d'un individu i . Elle est composée de deux biens : un bien composite dont le prix (P) est normalisé et un bien "hors-marché" (z_s). L'effet de ce dernier sur l'utilité individuelle varie selon deux "états de la nature" ($s \in (0, 1)$). Il existe alors une certaine somme d'argent, généralement dénommée le "consentement à payer" (WTP_i), dont l'individu doit s'acquitter dans l'"état de la nature" 1 et dont la soustraction au revenu rend cet individu "indifférent" par rapport à l'état 0 ¹³. Il s'agit de la "variation équivalente" (si z est un "mal") ou "compensatrice" (si z est un "bien") :

$$u_{i,1} = v_i(p, z_1, y_i - WTP_i) = u_{i,0} = v_i(p, z_0, y_i) \quad (3.12)$$

A l'aide d'enquêtes, les chercheurs proposent aux individus différents scénarios décrivant des améliorations quantitatives ou qualitatives dans la fourniture du "bien hors-marché" considéré. Ensuite, les personnes interviewées se voient proposer différentes enchères afin de révéler la valeur qu'elles attachent au "bien hors-marché", i.e. leur "consentement à payer".

Cette stratégie d'identification est efficace si le discours des individus nous informe sur leurs "vraies" préférences. Le questionnaire doit ainsi réussir à minimiser l'écart entre les intentions et les comportements effectifs (Luchini [2003]). Les deux pro-

12. On peut se référer à la "méthode des prix hédoniques" (Cavailhès [2005]) ou à la "méthode des coûts de transport" (D4E [2005]).

13. Il est également possible d'étudier le "consentement à recevoir" : des compensations sont dans ce cas proposées contre une baisse qualitative ou quantitative dans la provision du "bien hors-marché" considéré.

blèmes les plus souvent pointés du doigt portent sur le "biais hypothétique" et le "biais stratégique" (Mitchell and Carson [1989], Luchini [2003]). Il existe un "biais stratégique" lorsque les individus ne révèlent pas leur "vrai" "consentement à payer" et se comportent en "passager clandestin", i.e. tentent de faire payer le "bien hors-marché" par les autres. Le "biais hypothétique" décrit quant à lui une situation telle que les individus sont incapables de se représenter les scénarios hypothétiques (et ne peuvent donc pas répondre convenablement).

Développée initialement dans les années 1940 afin d'évaluer le montant des subventions publiques devant être allouées à la protection des parcs naturels américains (Luchini [2003]), la méthode d'évaluation contingente a été progressivement étendue à de nombreux "biens hors-marché"¹⁴. A commencer par les externalités liées aux transports. Elle a ainsi servi à valoriser les nuisances environnementales générées par la mobilité automobile (Brookshire, Thayer, Schulze, and d'Arge [1982], de Palma and Zaouali [2007]) ou bien les pollutions sonores associées aux transports aériens (Faburel [2002], Wardman and Bristow [2008]). Plus proche de ce travail sur le temps perçu et le confort des déplacements, la méthode d'évaluation contingente a été utilisée pour étudier les coûts d'opportunité du temps d'accès aux stations ou du temps d'attente sur les quais (Wardman [2001], Wardman [2004]) ou encore la fiabilité du service, l'information en station ou la propreté des véhicules (Litman [2008]).

3.3.2 LES VALORISATIONS DU CONFORT PRÉSENTES DANS LA LITTÉRATURE

Bien que produites depuis une vingtaine d'années par des cabinets de conseils anglais et australiens¹⁵, les évaluations contingentes du confort des déplacements dans les transports ferrés ont tardé à pénétrer la sphère académique. Li and Hensher [2011] ou Wardman and Whelan [2011] ont récemment proposé deux surveys sur le sujet

14. Oubliée pendant un certain temps, la méthode d'évaluation contingente a connu un renouveau lorsqu'il a fallu déterminer les sanctions dont devait s'acquitter le "pollueur" lors du naufrage de l'Exxon Valdez en 1989.

15. En réponse principalement aux commandes des gestionnaires des réseaux.

afin de combler ce retard.

La principale singularité des évaluations contingentes du confort provient de la nature des enchères permettant d'approximer le "consentement à payer pour le confort". Elles sont en effet le plus souvent proposées aux individus sous une forme temporelle, et non monétaire comme dans les études sur les biens environnementaux. Ainsi, différents "types" de voyage sont présentés aux voyageurs : certains déplacements sont plus longs (pouvant combiner temps sur les quais et temps en véhicule) mais plus confortables, l'individu choisit alors celui qui lui convient.

Utiliser un "véhicule de paiement" temporel présente au moins trois avantages dans l'optique d'une étude adéquate des "préférences déclarées" :

1. Les enchères temporelles réduisent tout d'abord le "biais stratégique" dans la mesure où les paiements sont des pures contributions individuelles et ne peuvent pas être manipulés.
2. Il est également vraisemblable que le "biais hypothétique" se trouve atténué. Ainsi, il est fréquent de voir des voyageurs laisser passer un métro bondé afin d'attendre le suivant, peut être plus confortable.
3. Finalement, utiliser des enchères monétaires nécessiterait de nombreuses informations complémentaires. Les tarifs des transports publics varient grandement selon les types d'abonnement, les zones géographiques couvertes ou encore le niveau des subventions proposées par les employeurs ou les pouvoirs publics.

En raison de cette pratique, les valorisations du confort sont le plus souvent exprimées sous la forme d'un ratio à appliquer au coût d'opportunité du temps en véhicule. Le "sur-déplacement" consenti durant le mécanisme d'enchères permet en effet d'approximer l'effet de la densité de passagers dans les trains sur le "coût généralisé", tel que perçu par les individus. La "variation équivalente du temps de déplacement" correspond ainsi à un "taux d'échange". Plus facilement transférable entre les voyageurs et/ou les lignes d'un réseau, cette mesure se transforme ensuite en un

équivalent monétaire grâce à la valorisation faite du coût d'opportunité du temps dans une situation "normale" ¹⁶.

Les études présentées par Li and Hensher [2011] ou Wardman and Whelan [2011] sont sans équivoque : des conditions de déplacement inconfortables conduisent à substantiellement majorer le "coût généralisé". Dans le cas anglais, le taux d'échange (marginal) entre une minutes de déplacement inconfortable et une minute de déplacement confortable oscille entre 60% et 200%, selon les niveaux de remplissage des trains. Pour le réseau ferré australien (Douglas and Karpouzis [2006]), l'intervalle proposé est de 34% - 100%. D'autres études aboutissent à des résultats encore supérieurs (Wardman and Whelan [2011]). La forme fonctionnelle entre la majoration du coût d'opportunité à appliquer et le niveau de fréquentation dans les trains a été par ailleurs testée dans Whelan and Crockett [2009] ¹⁷. Ils concluent que la forme linéaire reste la meilleure alternative par rapport à des formes plus complexes (exponentielles, puissance, Gompertz). Les valorisations du confort semblent également dépendre de la durée des voyages ainsi que du motif du voyage (supérieures pour les motifs autres que "travail-domicile") ou du genre (les femmes attachant plus de valeur au confort) (Li and Hensher [2011], Wardman and Whelan [2011], Douglas and Karpouzis [2006]).

Étonnamment, l'étude économique du confort des déplacements est quasi-inexistante en France. Comme expliqué en introduction, le Commissariat Général du Plan [2001] conseille d'appliquer (discrétionnairement) une majoration de 50% au coût d'opportunité du temps lorsque les voyageurs sont debout dans les trains. L'unique recherche empirique sur le thème fut indirectement proposée par Debrincat et al. [2006] (dont l'objet premier était la valorisation des retards sur le réseau régional en Ile-de-France ¹⁸).

16. Par rapport à notre modèle précédent, notons que l'effet du confort sur l'utilité des voyageurs passe par le prix, et non les quantités. Nous supposons en effet que le temps perçu augmentait suite à une hausse de la fréquentation, et non le coût d'opportunité du temps objectif. L'effet final sur l'utilité individuelle est identique.

17. Leur enquête proposait une multitude de niveaux de fréquentation dans les trains à l'aide de supports visuels.

18. L'enquête combinait des délais d'attente, des niveaux d'informations aux voyageurs et des taux d'occupation des véhicules variables.

Ils concluent qu'être debout durant un voyage est équivalent à un rallongement de la durée du déplacement entre 5 et 20 minutes selon l'entassement dans les véhicules. Ce résultat équivaut à des majorations du coût d'opportunité du temps comprises entre 30% et 90%. A l'aide de ces données, Leurent and Liu [2009] estiment à 15% le temps moyen de déplacement supplémentaire généré par un détour plus fiable et plus confortable sur le réseau régional francilien.

Bien qu'elle présente quelques limites, notre enquête de terrain permet de s'intéresser au confort des déplacements dans les métros parisiens. Aucune étude empirique n'a porté sur ce type de liaison jusqu'à ce jour.

3.4 L'ENQUÊTE DANS LA LIGNE 1

3.4.1 DESCRIPTIONS DE LA LIGNE 1 ET DE L'ENQUÊTE

Ligne historique du réseau ferré métropolitain, la ligne 1 traverse Paris d'Est en Ouest et relie la municipalité à sa proche Couronne. En raison de capacités d'accueil considérables (25000 utilisateurs par heure durant les pointes) et d'un déséquilibre croissant entre lieux de résidence et de travail dans la zone centrale de l'agglomération (Pinçon and Pinçon-Charlot [2008])¹⁹, la ligne 1 connaît la plus importante fréquentation du réseau. Environ 725000 personnes l'utilisent quotidiennement en 2008, réalisant 213 millions de voyages sur l'année (sources internes RATP).

Dans la mesure où l'objectif politique actuel est d'augmenter la fréquentation des transports publics dans Paris, il s'agit d'un objet d'étude pertinent. La ligne 1 dessert en effet les principaux centres économiques (La Défense, Charles De Gaulles - Etoiles...) et touristiques (Le Musée du Louvre, la Bastille...) de la capitale, pouvant ainsi constituer une aménité urbaine stratégique. Surtout, elle a vu sa fréquenta-

19. Durant les deux dernières décennies, les créations d'emplois ont majoritairement été concentrées à l'Ouest de Paris tandis que la croissance de la population s'est quant à elle essentiellement portée vers l'Est (Pinçon and Pinçon-Charlot [2008]).

tion croître de manière significative ces dernières années, dégradant largement le confort des déplacements. Son utilisation a ainsi augmenté de 25% entre 2000 et 2007 (sources internes RATP)²⁰.

L'enquête de terrain sur laquelle repose notre évaluation contingente du confort des déplacements a été réalisée durant les heures de pointe matinales de juin 2009²¹. L'échantillon initial est composé de 684 usagers se déplaçant en direction de la Défense entre 7h30 et 10h30 et interrogés sur les quais de 5 stations²². Comptant pour 22% des voyages réalisés dans le réseau de métros (Observatoire de la mobilité de la ville de Paris [2007]), les heures de pointe matinales apparaissent comme un choix naturel pour étudier le confort dans les véhicules²³. Ainsi, la densité moyenne de voyageurs dans la ligne 1 atteignait 2,3 passagers/ m^2 en 2009 à ces heures de la journée²⁴. Les conditions de transport sont clairement plus inconfortables que durant les heures creuses (1,3 passager/ m^2 , soit une différence de 85%).

Afin d'éviter un temps d'attente dissuasif pour les personnes interviewées, et le biais de sélection qui aurait pu en découler, le nombre de questions fut limité à 10 : les voyageurs étaient interrogés entre le passage de deux métros, ceux-ci se succédant avec une fréquence moyenne de 1 minute 45 durant les heures de pointe. Malgré la forte contrainte temporelle qu'elles impliquent, les enquêtes "face à face" présentent des avantages révélationnels certains par rapport aux enquêtes téléphoniques ou numériques. Par ailleurs, la densité de voyageurs dans les véhicules fut comptée depuis les quais durant les interviews²⁵. Même si cette mesure ne correspond qu'au

20. Première hausse du réseau en excluant la ligne 14 (inaugurée entre temps). Outre le déficit en zones de résidence et d'emplois, il est possible que cette hausse de la fréquentation dans la ligne 1 soit due à un report du RER vers la ligne 1 dans Paris.

21. Les auteurs souhaitent remercier Mlle. Fehr et M. Lenormand (qui ont réalisé le protocole de l'enquête et sa récolte) pour nous avoir laissé accéder à la base de données.

22. La plus proche de la Défense étant Chatelet.

23. Les heures de pointe comptent pour 47% des déplacements réalisés sur le réseau en considérant les pointes du soir (17h-20h) (Observatoire de la mobilité de la ville de Paris [2007]).

24. Chiffres reconstitués à l'aide de séries de densité du STIF, i.e. l'autorité régionale en charge de l'organisation des transports publics en Ile-de-France.

25. A chaque passage d'un métro, un enquêteur comptait le nombre de personnes présentes dans un wagon. Un métro comptant 6 wagons, les densités que nous utilisons ont été calculées pour des créneaux de 15 minutes, i.e. le temps qu'au moins 6 métros différents soient passés.

niveau de confort au début des voyages, elle permet de contrôler pour les variations de confort durant les pointes matinales.

3.4.2 STATISTIQUES DESCRIPTIVES

L'intégralité des informations est finalement disponible pour 533 observations. Le Tableau (3.2) indique que notre échantillon semble assez représentatif de la population active francilienne²⁶. Les habitants de Paris représentent 57% des individus, l'âge moyen est de 37 ans et 49% de la population est masculine. En raison des zones d'emplois desservies par la ligne 1, les cadres comptent logiquement pour 49% de l'échantillon. Il en découle un revenu disponible moyen relativement élevé - entre 2000 et 2500 euros par mois²⁷ - 28% des individus disposant d'une somme supérieure à 3000 euros. Nous pouvons déduire de ces données des coûts d'opportunité du temps de déplacement individualisés²⁸. Nous trouvons ainsi une moyenne de 0,19 euro par minute passée dans le réseau de métros. Ce coût d'opportunité est très proche de celui que nous trouvons en actualisant la valeur officiellement fixée par (Ministère de l'Équipement [2005]), i.e. 0,18 euro par minute en 2009 soit 10,8 euros par heure.

Concernant les caractéristiques des déplacements, ceux-ci sont logiquement réalisés pour des motifs "domicile-travail" en grande majorité (86%). Seulement un tiers de notre échantillon possède un véhicule automobile comme mode de transport alternatif, résultat cohérent avec la forte proportion de Parisiens dans l'échantillon. La durée déclarée d'un voyage dans la ligne 1 est de 27 minutes en moyenne²⁹. Une fois

26. Nous fournissons la distribution de certaines variables en Annexe.

27. Les parisiens sont sensiblement plus riches dans notre échantillon (2,330 euros par mois contre 2,250 euros pour les non résidents).

28. D'après D4E [2005], on peut déduire le coût d'opportunité du temps de déplacement (w_i) du revenu mensuel (y_i) en considérant 135 heures travaillées par mois et en appliquant la règle suivante : $w_i = (2/3) * y_i / 135$.

29. Cette moyenne est assez stable entre les lieux de résidence (26,4 minutes pour les banlieusards et 27,3 minutes pour les parisiens). Elle présente de faibles variations entre les groupes de revenu (24,5 minutes pour les revenus sous 800 euros par mois, 26,8 minutes pour les revenus dépassant 3,500 euros mensuels).

Tableau 3.2 – Statistiques descriptives

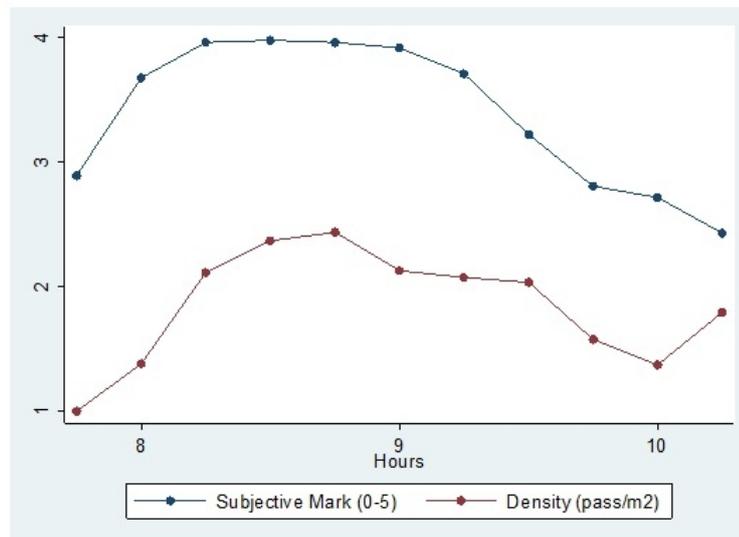
	Moyenne	Écart-type	Min.	Max.
Age (années)	37	9,97	+19	70
Homme (dummy)	49%	-	-	-
Revenu mensuel (euros)	2299	864,85	800	3500
Coût d'opportunité du temps (euro/minute)	0,19	0,07	0,07	0,29
Cadre (dummy)	49%	-	-	-
Parisien (dummy)	57%	-	-	-
Motid domicile-travail (dummy)	86%	-	-	-
Durée du déplacement (minutes)	27	12,37	2	50
Budget temporel (euros)	5,11	3,18	0,13	14,04
Possession de voiture (dummy)	33%	-	-	-
Densité (pass/m ²)	1,9	0,65	0,7	3,3
Note congestion (0-5)	3,4	1,12	0	5

Sources : Enquête sur les quais

monétarisée, nous trouvons un budget temporel moyen de 5,11 euros par voyage, i.e. environ huit fois le coût monétaire directement supporté par les individus³⁰.

Deux remarques semblent nécessaires sur la durée déclarée des voyages dans la ligne 1. Cette information pourrait tout d'abord correspondre au temps perçu des déplacements (et donc souffrir du biais lié au manque de confort dans les trains). Par ailleurs, la moyenne de 27 minutes indique que de nombreux individus n'ont pas compris correctement la question qui leurs avait été posée. Celle-ci portait en effet sur la durée du voyage dans la ligne 1. Dans la mesure où elle peut difficilement excéder 30 minutes d'un terminus à l'autre, il est vraisemblable que les voyageurs pensaient soit à la durée totale de leur déplacement ("porte à porte"), soit à la durée du voyage sur la ligne 1 mais en considérant le temps d'accès/sortie de la station, le temps de correspondance ou l'attente sur les quais. Pour regarder la robustesse des résultats à cet éventuel biais, nous nous intéresserons également au sous-échantillon de voyageurs ayant déclaré une durée de déplacement inférieure à 30 minutes, i.e. 69% des individus.

30. Le coût monétaire directement supporté par les utilisateurs du réseau de transports publics parisien est évalué à 0,64 euro par déplacement par Prud'homme et al. [2010].



Graphique 3.1 – Mesures objectives et subjectives de la congestion dans la ligne 1

Enfin, deux variables sont à notre disposition pour décrire le niveau de confort auquel font face les usagers de la ligne 1 durant les heures de pointe matinales. La première provient du comptage réalisé sur les quais aux moments des interviews. La densité moyenne de voyageurs dans les trains est de 1,9 passagers par m^2 . La seconde variable est une note attribuée par les personnes interrogées afin de décrire l'intensité de la congestion telle qu'ils la perçoivent. Cette note, comprise entre 0 (aucune congestion) et 5 (congestion maximale), obtient une moyenne de 3,4. Alors que seuls 15% des voyageurs ont choisi une note inférieure à 3, plus de 20% ont donné la note maximale, indiquant ainsi que la ligne 1 est vue comme fortement congestionnée durant les pointes matinales. Ces deux variables sont fortement corrélées³¹ : elles atteignent leurs maximums entre 8h30 et 8h45 (voir figure 3.1). Par ailleurs, elles semblent faiblement corrélées avec la durée déclarée d'un déplacement sur la ligne 1, modérant ainsi les soupçons d'endogénéité portant sur cette dernière³².

31. Coefficient de corrélation de 0,31.

32. Le coefficient de corrélation entre la densité et la durée déclarée est de 0,03. Celui de la note subjective et du temps de déplacement déclaré 0,10.

3.4.3 LA VALORISATION DU CONFORT DES DÉPLACEMENTS DANS LA LIGNE 1

Afin d'évaluer le "consentement à payer pour le confort", les enchères ont été proposées en des termes temporels, à l'instar des études sur le sujet existantes. La question suivante était posée aux utilisateurs de la ligne 1 : "Pour bénéficier du niveau de densité de voyageurs des heures creuses durant les heures de pointe, seriez-vous prêt(e) à prendre un métro qui met X minutes de plus?". L'enchère initiale était toujours fixée à 5 minutes, puis augmentait de 5 minutes jusqu'à l'offre maximale de 20 minutes. Les questions stoppaient à la première réponse négative ("multiple bounded bids").

Étant donnée cette question de valorisation, nous obtenons en premier lieu un "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort". Précisons que les descriptions faites du confort initial et des améliorations hypothétiques sont relativement partielles³³. Même si nos indicateurs du confort permettront de contrôler les réponses individuelles, nous sommes forcés d'adopter une vision discrète du phénomène de congestion (pointes vs. creuses), notamment lors de nos implications de politiques publiques. Ainsi, la différence de 85% entre la densité moyenne des heures de pointe (2,4 passagers/ m^2) et celle des heures creuses (1,3 passagers/ m^2) sera considérée comme l'amélioration hypothétique proposée aux voyageurs (et ainsi comprise). Afin de restreindre le "biais hypothétique", n'ont été par conséquent interrogés que les individus ayant déjà pris la ligne 1 durant les heures creuses.

Tableau 3.3 – Pour bénéficier du confort des heures creuses, seriez-vous prêt(e) à rallonger votre déplacement de X minutes ?

	< 5 min	5-10 min	10-15 min	15-20 min	> 20 min
Observations	136	221	153	15	8
Part	25,5%	41,5%	28,7%	2,8%	1,5%

Source : Enquête sur les quais

33. Ainsi, le "point de référence" durant les pointes matinales varie sur la ligne 1 selon les individus (le long du voyage), tout comme la perception subjective du niveau de confort pendant les heures creuses.

Tableau 3.4 – Consentement à payer pour le confort (en euros par déplacement)

	0,0	0,0-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	>2,5
Observations	136	26	45	71	123	49	42	41
Part	25,5%	4,9%	8,4%	13,3%	23,1%	9,2%	7,9%	7,7%

Source : Enquête sur les quais

Le tableau (3.3) présente la distribution des réponses individuelles à "l'arbitrage entre temps de déplacement et espace en véhicule". Pour obtenir des valeurs moyennes, nous devons faire des choix sur le traitement des intervalles de valeurs possibles. En supposant que la "vraie" valeur est représentée est par la borne inférieure de l'intervalle, i.e. "Non" à la première enchère équivaut à zéro minute (vision conservatrice), le "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" est de 5,7 minutes en moyenne. En considérant le milieu de l'intervalle, il atteint 8,1 minutes. Malgré certaines limites³⁴, notre enquête sur le "goût pour le confort" est sans ambiguïté : 75% des voyageurs de la ligne 1 sont prêts à rallonger d'au moins 5 minutes leurs déplacements afin de bénéficier d'un plus grand confort durant les heures de pointe³⁵.

En utilisant les coûts d'opportunité du temps individualisés, ces "préférences déclarées" correspondent à des "consentements à payer pour le confort" égaux à 1,07 - 1,54 euro par voyage en moyenne, toujours selon le traitement des intervalles. Avec la valeur du temps officielle (Ministère de l'Équipement [2005]), nous trouvons 1,01 -

34. Certaines limites pourraient provenir des "biais de première enchère" (Flachaire and Hollard [2007]). Les voyageurs pourraient ainsi répondre excessivement "Oui" à la première offre, notamment en raison d'empathie pour l'enquêteur. Dans cette perspective, la première offre de 5 minutes pourrait être considérée comme trop importante. Ensuite, le questionnaire ne proposait pas d'enchère descendante en cas de refus. En plus de réduire la précision des intervalles des réponses, il a été observé que les enchères croissantes pouvaient conduire à divers biais ("framing, anchor and shift effect biases", Flachaire and Hollard [2007]).

35. Nous avons à notre disposition une seconde question de valorisation du confort. Ainsi, une question portait sur la ré-introduction d'un système de classes dans les métros parisiens, système en fonctionnement jusqu'en 1991. Seulement 30% des personnes interrogées ont accepté le principe d'une telle "discrimination par les prix". Ceci nous amène à penser que derrière cette règle de tarification se cache autre chose qu'un simple "goût pour le confort", la recherche de "l'entre-soi" notamment.

Tableau 3.5 – Sur-déplacement (en % de la durée d'un déplacement)

	0	0-20	20-30	30-40	40-50	50-80	80-100	>100
Observations	136	104	117	63	49	17	35	12
Part	25,5%	19,5%	22,0%	11,8%	9,2%	3,2%	6,7%	2,3%

Source : Enquête sur les quais

1,46 euro par voyage. Ces valeurs correspondent environ au double de la contribution monétaire individuelle. Le tableau (3.4) décrit la distribution des "consentements à payer" en fixant les réponses à la borne inférieure des intervalles. Le croisement des réponses et des revenus individuels met en évidence une importante dispersion des "consentements à payer pour le confort". Si la médiane oscille entre 0,8 et 1 euro par voyage, environ 25% de notre échantillon serait prêt à accroître de plus de 1,50 euros le montant des ressources allouées aux transports, une fois le temps exprimé dans un équivalent monétaire.

Les réponses des voyageurs peuvent finalement être exprimées en termes de "sur-déplacement", i.e. le rapport entre le "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" et la durée déclarée du déplacement sur la ligne 1. Cette valeur nous servira de proxy pour majorer le "coût généralisé" des déplacements durant les heures de pointe en raison de conditions de voyage inconfortables (voir la section (2.6). Le "sur-déplacement" moyen est de 29% - 43% au sein de notre échantillon. Précisons que si elle en constitue une borne inférieure, cette valorisation du confort n'est pas similaire en tous points à celles présentées par Li and Hensher [2011] ou Wardman and Whelan [2011]. Notre mesure de "sur-déplacement" ne décrit en effet pas un taux d'échange marginal (minute par minute), mais un taux moyen (sur tout le voyage). Le ratio de 29% - 43% ne diffère toutefois pas fondamentalement des valeurs indirectement obtenues pour le réseau ferré régional francilien (Debrincat et al. [2006]), et encore moins de la valeur tutélaire de 50% (discrétionnairement) proposée par le Commissariat Général du Plan [2001]. Le tableau (3.5) présente la distribution des "sur-déplacements", toujours avec la vision conservatrice des intervalles. La

médiane oscille entre 20% et 30%. Environ 10% de l'échantillon est prêt à (au moins) doubler la durée du déplacement pour disposer d'un plus grand confort dans la ligne 1.

Ces différentes valorisations illustrent donc l'importance du "goût pour le confort" lors des déplacements réalisés dans le métro parisien. Si l'exclusion des individus déclarant voyager plus que 30 minutes dans la ligne 1 augmente mécaniquement le "sur-déplacement" moyen (36%-53%), il est notable que les moyennes du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" et du "consentement à payer pour le confort" restent identiques avec le second sous-échantillon.

3.5 ETUDE EMPIRIQUE

Dans cette section, nous étudions les facteurs nivellant le "consentement à payer pour le confort", ou plutôt "le consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" étant donnée notre stratégie d'identification.

3.5.1 SPÉCIFICATION DE L'UTILITÉ INDIVIDUELLE

En reprenant la formulation de l'utilité aléatoire, standard en évaluation contingente (Haab and McConnel [2003], D4E [2004]) :

$$u_{is}(p_i, t_i^p, c_s, X_i) = v_s(p_i, t_i^p, X_i) + \varepsilon_{is} \quad (3.13)$$

Alors que nous considérons auparavant le choix de l'individu i entre différents modes de transport (voir l'équation (3.1) dans la section (3.2)), nous comparons maintenant le temps perçu (t_i^p) selon que le déplacement soit réalisé avec les conditions de confort (c_s) des heures de pointe ($s = 0$) ou celles des heures creuses ($s = 1$). La va-

riable (p_i) représente toujours les coûts monétaires des transports, (X_i) un vecteur de contrôles individuels et (ε_{is}) un goût individuel invariant par rapport aux changements des autres variables.

Le gap entre le niveau de confort dans les trains durant les heures de pointe et les heures creuses implique des temps perçus des déplacements, et des utilités, distincts les deux "états de la nature" :

$$u_{i1}(p_i, t_i^p, c_1, X_i) = v_1(p_i, t_i^p, X_i) + \varepsilon_{i1} > v_0(p_i, t_i^p, X_i) + \varepsilon_{i0} = u_{i0}(p_i, t_i^p, c_0, X_i) \quad (3.14)$$

Concernant la forme fonctionnelle de l'utilité, nous assumons dans un premier temps la séparabilité additivement linéaire (Haab and McConnel [2003], D4E [2004]) :

$$u_{is} = \alpha_s + \beta_s p_i + \gamma_s t_i^p + \theta_s X_i + \varepsilon_{is} \quad (3.15)$$

En définissant le "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" comme la "variation équivalente du temps perçu de déplacement" rendant les individus indifférents entre le niveau de confort des heures de pointe et celui des heures creuses :

$$\alpha_1 + \beta_1 p_i + \gamma_1 t_i^p + \theta_1 X_i + \varepsilon_{i1} = \alpha_0 + \beta_0 p_i + \gamma_0 (t_i^p + WTW_i) + \theta_0 X_i + \varepsilon_{i0} \quad (3.16)$$

En ré-écrivant l'équation (3.16), nous trouvons :

$$WTW_i = \alpha + \beta p_i + \gamma t_i^p + \theta X_i + \eta_i \quad (3.17)$$

avec $\alpha = \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)}{\gamma_0}$, $\beta = \frac{(\beta_1 - \beta_0)}{\gamma_0}$, $\gamma = \frac{(\gamma_1 - \gamma_0)}{\gamma_0}$, $\theta = \frac{(\theta_1 - \theta_0)}{\gamma_0}$ and $\eta_i = \frac{(\varepsilon_{i1} - \varepsilon_{i0})}{\gamma_0}$.

Il est possible de simplifier cette équation en faisant l'hypothèse que l'utilité marginale des coûts monétaires est égale et constante entre les deux "états de la nature" ($\frac{\partial u_{is}}{\partial p_i} = \beta_1 = \beta_0 < 0$) : les coûts monétaires disparaissent de l'équation (3.17), transformation particulièrement utile dans la mesure où nous n'avons aucune information sur cette variable. Inversement, nous supposons que l'utilité marginale du temps perçu est plus faible pour les voyages des heures de pointe ($\frac{\partial u_{is}}{\partial t_i^p} = \gamma_s < 0$) et constante au sein de chaque "état de la nature", i.e. elle ne dépend pas de la durée du déplacement ($\gamma_1 = k > \gamma_0 = k'$).

Il est possible de relâcher cette seconde hypothèse en intégrant le temps perçu sous une forme logarithmique dans la fonction d'utilité (Haab and McConnel [2003])³⁶ :

$$u_{is} = \alpha_s + \beta_s p_i + \gamma \ln t_i^p + \theta_s x_i + \varepsilon_{is} \quad (3.18)$$

D'après la "condition d'indifférence", nous trouvons :

$$Excess_i = \alpha' + \beta' p_i + \theta' x_i + \eta'_i \quad (3.19)$$

avec $Excess_i = \ln(1 + \frac{W T W_i}{t_i^p})$, $\alpha' = \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)}{\gamma}$, $\beta' = \frac{(\beta_1 - \beta_0)}{\gamma}$, $\theta' = \frac{(\theta_1 - \theta_0)}{\gamma}$ and $\eta'_i = \frac{(\varepsilon_{i1} - \varepsilon_{i0})}{\gamma}$.

L'équation (3.19) indique que le "goût pour le confort" s'exprime désormais sous la forme du logarithme de (un plus) la mesure de "sur-déplacement". En gardant les mêmes hypothèses sur l'utilité marginale des coûts monétaires, les variations du "sur-déplacement" ne dépendent plus que des caractéristiques individuelles³⁷.

36. Dans ce cas, l'utilité marginale du temps perçu est égale à : $\frac{\partial u_{is}}{\partial t_i^p} = \frac{\gamma}{t_i^p} < 0$.

37. Notons que pour obtenir cette forme réduite, nous devons supposer que (γ) est identique pour les deux "états de la nature".

3.5.2 VARIABLES EXPLICATIVES

La variable explicative sur laquelle nous centrons notre attention lors des estimations de l'équation (3.17) est celle relative au temps perçu de déplacement sur la ligne 1 (t_i^p). Nous nous attendons à ce qu'elle influence positivement le "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort". On constate en effet que le coefficient (γ) dépend du rapport entre l'utilité marginale du temps de déplacement durant les heures creuses et celle du temps du déplacement durant les heures de pointe, supposé par hypothèse supérieur à 1. Précisons que ce coefficient (γ) correspond au taux d'échange marginal étudié dans Douglas and Karpouzis [2006] ou Whelan and Crockett [2009] et retenu généralement comme valorisation du confort (Li and Hensher [2011], Wardman and Whelan [2011]).

Contrairement à ces études, notre enquête de terrain ne nous permet pas de "discrétiser" l'observation du coefficient (γ) selon plus de deux "états de la nature", i.e. dépasser le clivage creuses vs. pointes. Étant donnée la faible corrélation entre nos mesures de la congestion dans la ligne 1 (densité dans les trains et note subjective) et la durée déclarée du déplacement, nous pouvons toutefois intégrer ces premières à (X_i). Ces variables permettent contrôler quelque peu pour les variations de confort individuel (objectif ou perçu) durant les heures de pointe. En raison de l'importante corrélation entre nos deux indicateurs de congestion (voir la figure (3.1)), nous les introduisons séparément.

Les autres variables explicatives sont décrites par le vecteur (X_i). Celui-ci intègre sous une forme dichotomique des variables représentant les déplacements "domicile travail" (avec un étuel effet négatif de ce motif), leurs genre (éventuellement positif pour les femmes) et lieux de résidence (Parisien ou non). Une dummy représente également la possession de véhicule automobile. Ce moyen de locomotion étant généralement considéré comme plus confortable, il se pourrait qu'avoir à sa disposition une voiture augmente le nombre de minutes échangées contre du confort. Nous in-

roduisons finalement l'âge des personnes interrogées sous une forme continue.

Les équations (3.17) et (3.19) ne font pas référence au revenu individuel, pourtant considéré comme un déterminant primordial des "consentements à payer" (Haab and McConnel [2003], D4E [2004]). Nous pouvons l'intégrer au vecteur des contrôles individuels lors des estimations du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort". Surtout, la richesse des voyageurs occupe une place centrale si nous passons à l'étude du "consentement à payer pour le confort". Comme il existe des risques de "causalité inverse", nous excluons dans ce cas les variables liées à la possession d'automobile et au lieu de résidence. Inversement, nous ajoutons une variable dichotomique décrivant la catégorie socio-professionnelle, i.e. cadre ou non. Par ailleurs, la durée de déplacement est intégrée comme "budget temporel", i.e. sous sa forme monétaire.

Finalement, nous ajoutons une variable dichotomique prenant la valeur 1 si les personnes étaient interrogées durant le "cœur des heures de pointe". Pour la construire, nous avons retenu les créneaux horaires compris entre 8h15 et 8h45 (voir la figure (3.1)), i.e. 22% de la population. L'idée est ici de contrôler pour des éventuels biais liés au "véhicule de paiement" temporel. D'après la littérature sur la congestion endogène (Arnott et al. [1990], de Palma et al. [2011]), il faut ajouter aux coûts temporels ceux liés aux départs précoces ou aux arrivées tardives afin d'être à l'heure souhaitée à destination, i.e. les "scheduling costs". Il serait plausible que certains voyageurs aient refusé de répondre favorablement aux enchères exprimées en minutes car ne pouvant pas rallonger leur déplacement sans arriver en retard sur leurs lieux d'arrivée (le travail dans la majorité des cas).

3.5.3 STRATÉGIE ÉCONOMÉTRIQUE

Le "système d'enchères multiples" utilisé durant l'enquête présente des choix ordonnés selon différents intervalles de valeurs. Nous pouvons étudier ces choix à l'aide

d'un "modèle à variables latentes" (Long and Freese [2006]). Ainsi, nous ne connaissons pas la "vraie" valeur du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" mais uniquement l'intervalle considéré ($WTWdec_i$). Nous pouvons donc écrire la probabilité qu'un individu ait répondu "Oui" à l'enchère m sous la forme suivante :

$$Pr(WTWdec_i = m) = Pr(\tau_m \leq WTW_i < \tau_{m+1}) \quad (3.20)$$

avec (τ_m, τ_{m+1}) étant les différentes bornes des intervalles proposés aux voyageurs.

En utilisant l'équation (3.17), et après simplification, nous pouvons ré-écrire :

$$Pr(WTWdec_i = m) = Pr(\tau_m \leq \alpha + \gamma t_i^p + \theta X_i + \eta_i < \tau_{m+1}) \quad (3.21)$$

Suite à la transformation du terme d'erreur, nous obtenons finalement :

$$Pr(WTWdec_i = m) = F_{\mu_i}(\tau_{m+1} - \alpha - \gamma t_i^p - \theta X_i) - F_{\mu_i}(\tau_m - \alpha - \gamma t_i^p - \theta X_i) \quad (3.22)$$

avec (F_{μ_i}) représentant la fonction de densité cumulée du nouveau terme d'erreur (μ_i) .

En supposant que la distribution du terme d'erreur suit une loi Normale ($\text{Var}(\mu_i)=1$), nous utilisons un modèle "probit ordonné". Il est possible que la distribution du terme d'erreur suive une loi logistique ($\text{Var}(\mu_i)=\pi^2/3$), dans ce cas nous estimons un modèle "logit ordonné" (Long and Freese [2006]).

Nous avons illustré la stratégie économétrique en utilisant le "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" (WTW_i). Étant déduits de ce dernier,

nous pouvons également utiliser les modèles "logit/probit ordonnés" pour estimer les "consentements à payer pour le confort" (WTP_i) ou la mesure du "sur-déplacement" ($Excess_i$).

3.5.4 RÉSULTATS

Les tableaux (3.6), (3.7) et (3.8) présentent les résultats des estimations menées avec un "logit ordonné". Nous avons retenu la vision "conservatrice" des réponses pour définir les catégories du "consentement à payer pour le confort" et du "sur-déplacement" (voir les tableaux (3.4) et (3.5)). En dépit de statistiques de puissance faibles, les écarts entre les catégories observées et celles prédites sont infimes (voir ci-dessous et Annexe). Surtout, nous sommes plus intéressés par l'impact qualitatif des variables que par l'ampleur des coefficients³⁸.

Les estimations indiquent que la durée déclarée d'un déplacement dans la ligne 1 (ou son équivalent monétaire) influence significativement le niveau du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" (du "consentement à payer pour le confort"). Ce résultat est cohérent avec la littérature sur les dimensions qualitatives des déplacements : plus les activités liées aux transports occupent une part importante du temps quotidien, et plus les individus valorisent le contexte dans lequel est "consommée" cette ressource. Ce résultat confirme surtout que la désutilité marginale d'une minute de déplacement est inférieure lors des heures de pointe et que le taux d'échange marginal est bien supérieur à 1. On observe également que nos deux indicateurs de la congestion dans la ligne 1 nivellent les réponses individuelles. A l'intérieur même des heures de pointe, l'intensité (réelle ou perçue) de l'inconfort explique le plus ou moins grand nombre de minutes échangées contre plus de confort dans les véhicules³⁹. En raison de la nature "latente" de nos dépendantes, il

38. Ceux-ci sont exprimés sous la forme de "odds ratio", i.e. comment change la probabilité d'obtenir une dépendante dans la catégorie supérieure pour une augmentation d'une unité d'une explicative ?

39. Le coefficient du temps déclaré ne change pas avec l'ajout de ces variables.

Tableau 3.6 – Déterminants du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort"

	Ordered Logit					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Durée	0.01** (0.01)	0.01* (0.01)	0.01* (0.01)	0.01* (0.02)	0.01* (0.01)	0.01* (0.01)
Domicile-travail	0.27 (0.25)	0.31 (0.26)	0.30 (0.26)	0.28 (0.26)	0.34 (0.26)	0.30 (0.26)
Voiture	0.17 (0.17)	0.20 (0.18)	0.21 (0.18)	0.18 (0.18)	0.21 (0.18)	0.18 (0.18)
Parisien	-	0.16 (0.17)	0.24 (0.17)	0.16 (0.17)	0.24 (0.17)	0.15 (0.17)
Age	-	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)
Homme	-	-0.04 (0.16)	-0.04 (0.16)	-0.05 (0.16)	-0.06 (0.16)	-0.06 (0.17)
Revenu	-	-0.01 (0.04)	-0.02 (0.04)	-0.01 (0.04)	-0.02 (0.04)	-0.02 (0.04)
Densité	-	-	0.30*** (0.11)	-	0.35*** (0.13)	-
Note congestion	-	-	-	0.13* (0.07)	-	0.15** (0.08)
Coeur des pointes	-	-	-	-	-0.26 (0.21)	-0.20 (0.20)
Observations	533	533	533	533	533	533
Log-Likelihood	-654.57	-653.99	-652.32	-652.34	-650.18	-651.86
Pseudo R²	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Significativité : * : $p < 0,10$; ** : $p < 0,05$; *** : $p < 0,01$

est conseillé de regarder les "coefficients standardisés" (Long and Freese [2006], voir le tableau (3.14) en Annexe)⁴⁰. Ils montrent que les indicateurs de confort du voyage ont un poids un peu supérieur à la durée du déplacement pour expliquer les variations du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort".

Tableau 3.7 – Déterminants du "consentement à payer pour le confort"

	Ordered Logit					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Budget temporel	0.18*** (0.03)	0.13*** (0.03)	0.13*** (0.03)	0.13*** (0.03)	0.13*** (0.03)	0.13*** (0.03)
Domicile-travail	0.39* (0.21)	0.32 (0.21)	0.30 (0.21)	0.28 (0.21)	0.33 (0.21)	0.31 (0.21)
Age	-	0.02** (0.01)	0.02** (0.01)	0.02** (0.01)	0.02** (0.01)	0.02** (0.01)
Homme	-	0.02 (0.15)	0.02 (0.15)	0.01 (0.15)	-0.00 (0.15)	-0.00 (0.15)
Cadre	-	0.67*** (0.18)	0.66*** (0.18)	0.68*** (0.18)	0.65*** (0.18)	0.68*** (0.18)
Densité	-	-	0.26** (0.11)	-	0.32*** (0.12)	-
Note congestion	-	-	-	0.15** (0.07)	-	0.17** (0.07)
Coeur des pointes	-	-	-	-	-0.29 (0.19)	-0.24 (0.17)
Observations	533	533	533	533	533	533
Log-Likelihood	-997.56	-986.66	-984.10	-984.33	-982.95	-983.49
Pseudo R²	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

Significativité : * : $p < 0,10$; ** : $p < 0,05$; *** : $p < 0,01$

Contrairement aux études de Whelan and Crockett [2009] ou Douglas and Karpouzis [2006], nous observons une très faible hétérogénéité dans les caractéristiques individuelles influençant le "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort". L'âge et le statut socio-économique ("cadre") jouent bien significativement sur le "consentement à payer pour le confort" mais cet effet est "ad hoc". Il passe par

40. Les coefficients des tableaux (3.6), (3.7) et (3.8) ne considèrent pas la nature "latente" des variables dépendante. Le changement marginal estimé doit être standardisé par la déviation estimée de la "variable latente" (Long and Freese [2006]).

le coût d'opportunité du temps, lui-même fonction du revenu individuel. La richesse individuelle ne semble donc pas expliquer le "goût pour le confort" des usagers de la ligne 1, celui-ci étant essentiellement fonction des caractéristiques des déplacements (durée et confort). Ce résultat est confirmé dans le tableau (3.8). Dès que nous retirons la durée déclarée d'un déplacement du vecteur des explicatives, la densité de voyageurs dans la ligne 1 devient l'unique variable significative pour expliquer le "sur-déplacement", la note subjective voyant disparaître son influence. Un LR-test confirme que la densité possède un réel pouvoir explicatif additionnel (Long and Freese [2006]). Nous constatons finalement que le biais lié au "véhicule de paiement" temporel est inexistant. La dummy "coeur des pointes" est bien négative, comme attendu, mais jamais significativement différente de zéro.

3.5.5 ROBUSTESSE, PROBABILITÉS PRÉDITES ET CONGESTION SUBJECTIVE

Ces résultats apparaissent robustes à la méthode d'estimation. Ainsi, ils sont similaires avec un "probit ordonné". Les estimations des modèles catégoriels ordonnés supposent par ailleurs que soit vérifiée la "parallel line assumption"⁴¹. Nous testons cette hypothèse à l'aide d'un test de Wald (Long and Freese [2006]). Elle n'est pas respectée globalement, i.e. pour tous les coefficients simultanément. En utilisant un "logit ordonné généralisé" (Long and Freese [2006]), nous observons néanmoins que cette hypothèse est la plupart du temps vérifiée pour la durée des déplacements, la densité de voyageurs dans les trains ainsi que la note subjective, soit les trois variables significatives. Nous avons mené les mêmes estimations sur le sous-échantillon d'individus déclarant se déplacer moins de 30 minutes dans la ligne 1. Si la taille des coefficients associés à la durée des déplacements est plus importante pour cette sous-population (voir Annexe, tableau (3.14)), nous trouvons des résultats semblables concernant la significativité des variables explicatives.

41. Les "ratios de chance" des explicatives, i.e. les coefficients, doivent rester constants entre les différents niveaux de la variable dépendante.

Tableau 3.8 – Déterminants du "sur-déplacement"

	Ordered Logit					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Domicile-travail	-0.00 (0.27)	0.03 (0.29)	0.02 (0.29)	0.00 (0.29)	0.04 (0.29)	0.01 (0.29)
Voiture	0.11 (0.16)	0.11 (0.17)	0.11 (0.18)	0.09 (0.17)	0.12 (0.17)	0.09 (0.17)
Parisien	-	0.07 (0.17)	0.13 (0.17)	0.06 (0.17)	0.14 (0.17)	0.06 (0.17)
Age	-	0.00 (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)	0.00 (0.01)
Homme	-	0.11 (0.15)	0.11 (0.15)	0.11 (0.15)	0.10 (0.15)	0.11 (0.15)
Revenu	-	-0.02 (0.04)	-0.02 (0.04)	-0.02 (0.04)	-0.03 (0.04)	-0.02 (0.04)
Densité	-	-	0.22** (0.11)	-	0.25** (0.12)	-
Note congestion	-	-	-	0.08 (0.07)	-	0.09 (0.07)
Coeur des pointes	-	-	-	-	-0.16 (0.19)	-0.10 (0.19)
Observations	533	533	533	533	533	533
Log-Likelihood	-983.76	-983.11	-981.57	-982.63	-981.22	-982.49
Pseudo R²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Significativité : * : $p < 0,10$; ** : $p < 0,05$; *** : $p < 0,01$

Tableau 3.9 – Probabilités prédites du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" (en minutes par déplacement)

	< 5 min	5-10 min	10-15 min	15-20 min	> 20 min
Ensemble	25,6%	41,5%	28,6%	2,8%	1,5%
Durée <15 min	30,8%	42,0%	24,0%	2,2%	1,1%
Durée 15-30 min	25,3%	41,7%	28,7%	2,8%	1,5%
Durée >30 min	21,8%	40,9%	32,2%	3,3%	1,8%
Densité <1,5 voy/m²	28,7%	42,1%	25,6%	2,3%	1,2%
Densité 1,5-2,5 voy/m²	26,1%	41,7%	28,0%	2,7%	1,4%
Densité >2,5 voy/m²	21,0%	40,4%	33,2%	3,5%	1,9%
Note <3	28,2%	42,1%	26,0%	2,4%	1,3%
Note =3	26,1%	41,5%	28,2%	2,8%	1,5%
Note >3	24,2%	41,3%	29,9%	3,0%	1,6%

Le tableau (3.9) permet de synthétiser l'influence de la durée déclarée des déplacements et des indicateurs de confort (objectif et subjectif) sur les probabilités prédites du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort". Ces probabilités ont été calculées pour l'ensemble de l'échantillon. C'est essentiellement pour les réponses à la première (0-5 minutes) et troisième (10-15 minutes) enchères que les conditions de déplacement modifient les probabilités prédites, notamment la densité de passagers. Nous obtenons des observations similaires pour les prédictions du "consentement à payer pour le confort" et du "sur-déplacement", même si moins marquées⁴² (voir Annexe).

En raison de son influence sur le "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" et sur le "consentement à payer pour le confort", nous avons finalement décidé d'explorer empiriquement la note subjectivement attribuée par les

42. Pour le "sur-déplacement", les probabilités prédites ne semblent pas influencées par la durée des déplacements, mais essentiellement par la densité de voyageurs dans les trains.

voyageurs et décrivant la congestion dans la ligne 1. Étant donnée la nature catégorielle de cette variable, nous utilisons également un "logit ordonné".

Tableau 3.10 – Déterminants de la congestion subjective dans la ligne 1

	Ordered Logit			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Durée	0.01** (0.01)	0.01** (0.01)	0.01* (0.01)	0.01* (0.01)
Domicile-travail	0.58** (0.24)	0.57** (0.29)	0.60** (0.29)	0.50* (0.29)
Voiture	0.34** (0.17)	0.31* (0.17)	0.35** (0.18)	0.34* (0.18)
Parisien	-	0.31 (0.16)	0.32* (0.17)	0.33* (0.17)
Age	-	0.01 (0.01)	0.02** (0.01)	0.02** (0.01)
Homme	-	-0.07 (0.16)	-0.05 (0.17)	0.01 (0.17)
Revenu	-	-0.00 (0.04)	-0.02 (0.04)	-0.00 (0.04)
Densité	-	-	0.90*** (0.12)	0.78*** (0.12)
Coeur des pointes	-	-	-	0.84*** (0.19)
Observations	533	533	533	533
Log-Likelihood	-781.80	-780.22	-754.28	-745.36
Pseudo R²	0.01	0.01	0.05	0.06

Significativité : * : $p < 0,10$; ** : $p < 0,05$; *** : $p < 0,01$

L'appréciation subjective du confort dépend d'un plus grand nombre de facteurs que les réponses à "l'arbitrage entre temps et espace en véhicule" (voir le tableau (3.10)). Logiquement, la densité de voyageurs dans les trains semble être la variable la plus importante. Mais nous observons également que des caractéristiques liées au voyage (durée, motif "domicile-travail") ou aux individus eux-mêmes (âge, lieu de résidence, possession de véhicule automobile) influencent positivement la note, à l'inverse du revenu. Ces conclusions tendent donc à modérer la faible hétérogénéité individuelle observée ci-dessus. La note subjective influence en effet le niveau de "consentement

à voyager plus longtemps contre plus de confort" ainsi que le "consentement à payer pour le confort".

3.6 IMPLICATIONS DE POLITIQUES PUBLIQUES

3.6.1 LA VALORISATION DU CONFORT DANS LE MÉTRO PARISIEN

D'après notre étude des "préférences déclarées", les utilisateurs de la ligne 1 seraient prêts à rallonger leurs déplacements de 5,7 - 8,1 minutes afin de jouir du confort des heures creuses durant les heures de pointe⁴³. En utilisant les valorisations monétaires correspondantes - le "consentement à payer pour le confort" de 1,07 - 1,54 euro par déplacement - il est possible de calculer les gains de bien-être générés par une politique réduisant d'environ 85% la densité de voyageurs dans la ligne 1. Sachant que 47% des déplacements quotidiennement réalisés dans le métro parisien ont lieu durant les heures de pointe, les améliorations potentielles de bien-être atteignent 107 - 154 millions d'euros. Ce chiffre est obtenu en considérant 213 millions de voyages réalisés sur la ligne 1 en 2008 (sources internes RATP).

Il est tentant d'extrapoler nos résultats à l'ensemble des lignes du réseau de métros parisiens, en reconnaissant toutefois que la densité de voyageurs, la durée d'un déplacement et le revenu individuel sont certainement plus élevés pour la ligne 1 que pour les autres lignes. Afin de limiter toute sur-estimation excessive, nous utilisons la (plus basse) valeur du temps officielle (Ministère de l'Équipement [2005]) ainsi que la vision conservatrice des réponses. Nous prenons donc un "consentement à payer pour le confort" égale à 1,01 euro par déplacement. En appliquant cette valeur à 47% des 1388 millions de voyages réalisés dans le réseau ferré intra-muros en 2007 (RATP [2008]), les bénéfices liés à un confort supérieur dans le métro sont désormais de 659 millions d'euros.

43. La densité moyenne de voyageurs étant sensiblement la même durant les pointes matinales et celles du soir, nous dénommons désormais par "pointes" ces deux périodes.

Ces chiffres illustrent les enjeux liés à la prise en compte du confort des déplacements lors de l'évaluation des politiques de transport. Ils présentent toutefois une importante limite : les infrastructures qui réussiraient à réduire de 85% la densité de voyageurs dans les trains sont rarement observées, notamment à Paris où il reste peu d'espace dans les sous-sols afin de creuser de nouvelles lignes. Pour cette raison, un exercice plus utile consiste à s'intéresser à l'effet externe d'encombrement dans le métro durant les heures de pointe, i.e. quel est le gain (ou la perte) de bien-être lorsqu'on retire (ajoute) un voyageur dans un train ?

3.6.2 L'EFFET EXTERNE D'ENCOMBREMENT DANS LE MÉTRO

La méthodologie présentée ci-dessous s'inspire du cadre d'analyse "pigouvien", largement repris pour l'étude statique de la congestion routière (Quinet and Vickerman [2004], Small and Verhoef [2007]). Tout au long de cet article, nous avons supposé que l'encombrement dans le métro - décrit par un niveau de densité de voyageurs (q_s) avec ($s = 1$) pour les heures creuses et ($s = 0$) pour les heures de pointe - engendrait un effet externe ($Ext(q_s) = I'(q_s) q_s$). Ceci implique que les coût privé ($I(q_s)$) et social ($S(q_s)$) d'utilisation du métro diffèrent :

$$S(q_s) = I(q_s) + Ext(q_s) = I(q_s) + I'(q_s) q_s \quad (3.23)$$

Dans la mesure où le "coût généralisé" d'un voyage durant les heures de pointe est mieux décrit par le temps perçu ($t^p(q_s)$) que par le temps objectif ($t^o(q_s)$), en définissant (p) comme le coût monétaire et (w) comme le coût d'opportunité du temps, nous pouvons ré-écrire⁴⁴ :

44. On occulte dans la fonction de coût les pertes de temps objectif liées au "goulot d'entrangement".

$$S(q_s) = p + w t^p(q_s) + w (t^p(q_s))' q_s \quad (3.24)$$

Il est possible d'utiliser notre enquête de terrain pour estimer l'effet externe d'encombrement dans le métro. Pour cela, il faut tout d'abord supposer que les bénéfices et les coûts liés au confort des déplacements sont symétriques, i.e. que "consentement à payer" et "consentement à recevoir" sont égaux⁴⁵. A l'instar de notre scénario hypothétique, nous considérons ensuite que le temps perçu varie d'une manière discrète entre le niveau de densité des heures de pointes et celui des heures creuses. Ainsi :

$$Ext(q_0) = \frac{t^p(q_0) - t^p(q_1)}{q_0 - q_1} \frac{w q_0}{v} \quad (3.25)$$

avec (v) représentant la vitesse des métros, environ 30 km/h dans le cas parisien. Cette transformation nous permet d'obtenir un coût externe unitaire, i.e. par *passager* \times *kilomètre*.

Notre mesure du "sur-déplacement" peut servir de proxy pour les coûts liés à l'inconfort dans le métro. Le "sur-déplacement" moyen des utilisateurs de la ligne 1 oscille entre 29% et 42%. Encore une fois, nous utilisons l'estimation basse de telle sorte que $t^p(q_0) = 1,29 t^p(q_1)$. Même si nos données de comptage sur les quais ont un effet significatif lors des estimations économétriques, nous utilisons par ailleurs les données agrégées. Le changement de densité de voyageurs est donc égale à 85% ($q_0 = 2,4$ voy/ m^2 et $q_1 = 1,3$ voy/ m^2).

La densité de voyageurs durant les heures creuses pourrait également être jugée comme

45. Horowitz and McConnel [2002] observent une différence importante entre ces deux valeurs, le "consentement à recevoir" étant considérablement supérieur. Pour justifier ce point, il est parfois avancé que les évaluations des "consentements à recevoir" écartent du choix toute contrainte budgétaire. Par ailleurs, la "Prospect Theory" explique qu'en présence d'individus averses au risque, les pertes par rapport à une situation de référence sont supérieures aux gains (De Borger and Fosgerau [2008]).

inconfortable : celle qui autoriserait chaque voyageur à s'asseoir dans la ligne 1 est en effet proche de $0,9 \text{ voy}/m^2$ ⁴⁶. Pour cette raison, nous retenons deux scénarios :

1. Nous supposons tout d'abord que les déplacements réalisés durant les heures creuses ne souffrent d'aucun biais de perception en raison d'inconfort ($t^p(q_1) = t^o(q_1)$). En utilisant la valeur du temps (w) officiellement fixée à 10,8 euros par heure en 2009, l'effet externe d'encombrement dans le métro est égale à 0,23 euro/pkm.
2. D'une manière alternative, nous pouvons faire l'hypothèse que les déplacements des heures creuses dans la ligne 1 génèrent également des pertes de bien-être. En appliquant une majoration arbitrairement fixée à 25% ($t^p(q_1) = 1.25 t^o(q_1)$), nous trouvons maintenant un effet externe de 0,28 euro/pkm.

Ces paramètres méritent quelques commentaires. En raison de la différence entre "consentement à payer" et "consentement à recevoir" (Horowitz and McConnel [2002]), ils doivent tout d'abord être considérés comme des bornes inférieures s'ils sont utilisés pour calculer des coûts marginaux de congestion dans le métro. Surtout, l'effet externe d'encombrement est loin d'être négligeable par rapport au "coût généralisé" : environ 50%⁴⁷. Il est intéressant de comparer ces résultats avec le coût marginal de congestion routière. Ainsi, Leurent et al. [2009] proposent une valeur de 0,49 euro/pkm pour les grands axes de circulation parisiens durant les heures de pointe. Se concentrant sur le boulevard Périphérique, Koning [2010] trouve quant à lui une valeur moyenne de 0,42 euro/pkm. L'écart entre les coûts marginaux des deux types de congestion n'est donc pas si important que cela. Surtout, l'effet externe d'encombrement dans le métro dépasse les valorisations des autres "maux" générés par la mobilité automobile (bruit, accidents, pollution locale et contribution à l'effet de serre), soit 0,11 euro par kilomètre en reprenant la méta-analyse de Quinet [2004] ou 0,13 euro par kilomètre d'après celle de l'Agence Européenne de l'Environnement (TERM [2005]).

46. Nous obtenons un tel chiffre en considérant des wagons de 30 m^2 et 28 sièges disponibles par wagon.

47. En négligeant les coûts monétaires privés, et en supposant que $t^p(q_1) = t^o(q_1)$, le coût temporel d'un déplacement sur la ligne 1 durant les heures de pointe est de 0,46 euro/pkm. Le coût social est donc de 0,69 euro/pkm.

Par conséquent, les études sur le "two modes problem" ne doivent pas négliger cette dimension lorsqu'elles cherchent le niveau d'utilisation optimale des réseaux ferrés. Reprenant la même base de données que celle utilisée ici, Prud'homme et al. [2010] proposent une fonction reliant linéairement le "coût généralisé" d'utilisation du métro au niveau de densité dans les trains. Calibrant leur modèle sur la répartition modale dans Paris en 2001, ils observent une différence de 18% dans le niveau optimal d'utilisation du réseau ferré selon que l'on considère (ou non) les pertes de bien-être liées au confort des déplacements⁴⁸. Afin d'internaliser la congestion sur les deux réseaux, ils proposent des péages pour les voitures et le métro égaux à 2,43 euros et 1,53 euro par voyage respectivement.

Il nous serait possible de reproduire des résultats similaires. L'effet externe d'encombrement dans le métro peut en effet déterminer la pente de la fonction reliant le "coût généralisé" à la densité de passagers en véhicule⁴⁹. Nous préférons plutôt nous en servir pour mesurer quelques gains de bien-être issus des reports modaux observés dernièrement à Paris.

3.6.3 BIEN-ÊTRE DES VOYAGEURS ET CONFORT DES DÉPLACEMENTS DANS LE MÉTRO PARISIEN

Le premier exemple provient de Prud'homme et al. [2011] qui évaluent les coûts et les bénéfices générés par une ligne de tramway ouverte dans le Sud de Paris en décembre 2006. À l'aide d'une enquête de terrain, ils montrent qu'environ 35% des utilisateurs du tramway se déplaçaient auparavant avec le métro parisien. Ainsi, le report modal annuel est de 28,8 millions de pkm par rapport à 2003. Cette évolution a dû se traduire par un confort des déplacements supérieur pour les personnes toujours

48. En occultant les coûts d'encombrement du métro, la part optimale du métro dans la mobilité parisienne est de 92%. En prenant en compte les coûts d'encombrement, la part optimale du métro baisse à 76%. Notons que leur modèle considère uniquement les coûts temporels et monétaires d'utilisation des modes.

49. Prud'homme et al. [2010] utilisent en effet une régression linéaire sans constante, attribuant donc toute la variation des "consentements à payer pour le confort" aux variations de densité, i.e. les données de comptage.

dans le métro. En supposant que 47% du report modal correspond à des déplacements ayant lieu durant les heures de pointe, les bénéfices annuels de décongestion du métro se chiffrent à 3,2 - 3,8 millions d'euros⁵⁰. Il s'agit du principal effet positif du tramway : il faut le rapporter aux gains de temps estimés à 2,8 millions euros par an.

Il est également possible de compléter Kopp [2011] qui s'intéresse au report modal vers les deux-roues motorisés, mode de transport ayant connu une forte croissance entre 2000 et 2007 (+36% de kilomètres parcourus). A l'aide d'une enquête de terrain, Kopp [2011] montre que la majorité des nouveaux utilisateurs des motos dans Paris voyageaient auparavant en métro. Environ 200 millions de pkm ont été éliminés du réseau ferré entre 2000 et 2007. Kopp [2011] néglige toutefois l'effet externe de décongestion du métro lorsqu'il mesure les coûts et les bénéfices induits par ce changement modal. En utilisant les mêmes paramètres que précédemment, nous obtenons des bénéfices externes de décongestion compris entre 21,6 et 26 millions d'euros. Ces gains de bien-être sont loin d'être négligeables, ils correspondent à 10% des gains de temps des nouveaux motards dans Paris.

Les bénéfices liés à une hausse du confort dans le métro parisien que nous venons de calculer cachent un sérieux "effet de composition". Comme illustré par le tableau (3.1), la densité moyenne de voyageurs a connu une forte croissance entre 2002 et 2007 : +8% environ. L'arrivée des nouveaux usagers dans les métros a donc dégradé le confort des déplacements de tous. En utilisant leur fonction reliant "coût généralisé" et densité, Prud'homme et al. [2010] estiment ainsi les pertes de bien-être correspondantes à 75 millions euros par an. Ce dernier résultat ne peut expliquer seul les préoccupations liées aux conditions de transport dans l'agglomération parisienne. La situation des trains régionaux est tout autant préoccupante⁵¹. Il constitue néan-

50. Les mesures de l'effet externe d'encombrement peuvent être trop élevées par rapport à 2003 : les niveaux de densité considérés dans l'équation (3.25) ont changé durant la période. Le même commentaire s'applique aux estimations suivantes. Nous pensons néanmoins que la position conservatrice retenue protège d'une trop importante sur-estimation.

51. Dans la mesure où la durée des voyages et la densité jouent significativement sur les réponses individuelles à l'"arbitrage entre temps et espace en véhicule", il est probable que les pertes de bien-

moins une proxy de la désutilité croissante générée par l'utilisation du métro. Ces estimations soulignent par ailleurs la nécessité d'investissements en infrastructures. Sachant que la baisse de la mobilité automobile observée dans Paris entre 2000 et 2007 ne correspond qu'à la moitié de celle visée par la municipalité pour l'horizon 2020, les coûts liés à l'encombrement du métro pourraient augmenter considérablement si celui-ci venait à recevoir un report modal trop important⁵². Il est possible que le réseau intra-muros fasse alors face à sa contrainte de capacité et que des "goulots d'étranglement" s'y multiplient, engendrant des pertes de temps objectif en sus de celles liées au manque de confort.

3.7 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons cherché à démontrer que les effets d'encombrement dans les réseaux de transports ferrés pouvaient être importants. Même s'ils sont parfois limités par certaines faiblesses à corriger dès que des nouvelles données seront disponibles (voir la Conclusion Générale), nos résultats semblent suffisamment robustes pour s'autoriser quelques conclusions. Il est probable que les leçons tirées du cas parisien puissent être transposées à d'autres aires métropolitaines où le réseau de métros joue un rôle central.

En s'inspirant du concept de "temps perçu" et en traitant une base de données originale avec la méthode d'évaluation contingente, nous avons défendu que des changements dans le niveau d'utilisation des métros pouvaient influencer significativement l'utilité des utilisateurs. Cet effet semble primordial pour au moins deux types d'analyses empiriques.

Les coûts liés à l'inconfort des déplacements devraient tout d'abord être plus souvent pris en compte dans les recherches appliquées sur le choix modal, notamment

être liées au confort soient supérieures sur le réseau régional.

52. Prud'homme et al. [2010] estiment à 420 millions euros les pertes de bien-être additionnelles dans le cas où tout le report d'ici à 2020 irait dans le métro, i.e. une hausse de la densité de 20%.

Conclusion

lorsqu'il convient de définir l'utilisation optimale des réseaux de métros. Des politiques de restriction de l'espace viaire ou de "road pricing" risquent ainsi d'induire un report modal moindre. Ces mesures augmentent en effet le "temps perçu" des déplacements et les pertes de bien-être liées à l'encombrement du réseau.

Selon la même logique, les analyses coûts-bénéfices des infrastructures ne vont plus être seulement influencées par l'arrivée de nouveaux utilisateurs, i.e. le report modal, mais également par le fait que les usagers présents sur les autres lignes valorisent le confort de leurs déplacements. L'exemple du tramway est dans cette perspective très parlant. Etant donnés les projets en cours pour la région Ile-de-France, nous espérons que les dimensions qualitatives des déplacements, dont le confort fait indéniablement partie, auront une place plus importante dans les discussions des décideurs et les travaux des économistes.

Finalement, nous nous sommes essentiellement basés sur une approche de choix bi-modal. Il existe néanmoins d'importantes contraintes physiques et financières pesant sur les réseaux routiers et ferrés parisiens. Ceci donne des justifications supplémentaires aux politiques stimulant l'usage de modes alternatifs dans Paris, tels que la marche à pied, les vélos ou les deux-roues motorisés. En sus de nécessiter peu d'espace urbain et moins de ressources financières, des politiques stimulant ces modes peuvent également participer à désengorger les réseaux de métros et limiter ainsi les coûts liés à l'inconfort des déplacements.

3.8 ANNEXES

3.8.1 DISTRIBUTIONS DE CERTAINS VARIABLES

Tableau 3.11 – Distribution de la durée des déplacements dans la ligne 1 (en minutes)

	< 10	10-20 min	20-30 min	30-45 min	> 45 min
Observations	74	135	160	122	12
Part	13,7%	25,4%	30%	28,7%	2,3%

Source : Enquête sur les quais

Tableau 3.12 – Distribution de la note subjective

	0	1	2	3	4	5
Observations	7	16	78	169	163	100
Part	1,3%	3,0%	14,6%	31,7%	30,6%	18,8%

Source : Enquête sur les quais

Tableau 3.13 – Distribution de la densité de passagers dans la ligne 1 durant les interviews (en passagers/ m^2)

	<1,0	1-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	>3,0
Observations	35	142	132	78	133	13
Part	6,6%	26,6%	24,8%	14,6%	25,0%	2,4%

Source : Comptage depuis les quais

3.8.2 FULLY-STANDARDIZED COEFFICIENTS" DES VARIABLES EXPLICATIVES

Tableau 3.14 – "Fully-standardized coefficients" des variables explicatives

	Fully-standardized coefficients				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Dépendante	WTW	WTW	WTP	WTP	Excess
Échantillon complet					
Durée	0.08	0.08	-	-	-
Budget temporel	-	-	0.21	0.20	-
Densité	0.12	-	0.11	-	0.08
Note congestion	-	0.09	-	0.10	ns
Age	ns	ns	0.10	0.09	ns
Cadre	-	-	0.16	0.17	-
Sous-échantillon (durée ≤ 30 minutes)					
Durée	0.14	0.15	-	-	-
Budget temporel	-	-	0.27	0.26	-
Densité	0.12	-	0.10	-	0.07
Note congestion	-	0.10	-	0.11	ns
Age	ns	ns	0.08	ns	ns
Cadre	-	-	0.11	0.12	-

3.8.3 PROBABILITÉS PRÉDITES DU "CONSENTEMENT À PAYER POUR DU CONFORT" ET DU "SUR-DÉPLACEMENT"

Tableau 3.15 – Prédications du "consentement à payer pour le confort" (en euros par déplacement)

	0,0	0,0-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	>2,5
Ensemble	24,1%	4,5%	8,5%	14,1%	23,7%	9,3%	8,1%	7,8%
Durée <15 min	28,3%	5,0%	9,1%	14,4%	22,2%	8,1%	6,7%	6,2%
Durée 15-30 min	24,5%	4,6%	8,6%	14,1%	23,6%	9,2%	7,9%	7,5%
Durée >30 min	20,1%	4,1%	7,9%	13,8%	24,9%	10,4%	9,4%	9,4%
Densité <1,5 voy/m²	27,1%	4,9%	8,9%	14,3%	22,7%	8,4%	7,1%	6,6%
Densité 1,5-2,5 voy/m²	24,6%	4,6%	8,6%	14,2%	23,6%	9,1%	7,9%	7,5%
Densité >2,5 voy/m²	19,8%	4,1%	7,9%	13,7%	24,9%	10,5%	9,5%	9,6%
Note <3	26,7%	4,8%	8,9%	14,2%	22,6%	8,5%	7,2%	6,8%
Note =3	25,7%	4,7%	8,8%	14,2%	23,2%	8,8%	7,5%	7,1%
Note >3	22,0%	4,3%	8,2%	14,0%	24,4%	9,9%	8,7%	8,5%

Tableau 3.16 – Prédications du "sur-déplacement" (en % de la durée d'un déplacement)

	0	0-20	20-30	30-40	40-50	50-80	80-100	>100
Ensemble	25,6%	19,6%	22,0%	11,8%	9,1%	3,2%	6,6%	2,3%
Durée <15 min	25,9%	19,7%	21,9%	11,7%	9,0%	3,1%	6,5%	2,2%
Durée 15-30 min	25,3%	19,5%	22,0%	11,8%	9,2%	3,2%	6,7%	2,3%
Durée >30 min	25,7%	19,7%	22,0%	11,7%	9,1%	3,1%	6,5%	2,2%
Densité <1,5 voy/m²	27,8%	20,3%	21,7%	11,1%	8,4%	2,9%	5,8%	2,0%
Densité 1,5-2,5 voy/m²	26,1%	19,8%	21,9%	11,6%	9,0%	3,1%	6,4%	2,2%
Densité >2,5 voy/m²	22,1%	18,4%	22,3%	12,8%	10,3%	3,7%	7,7%	2,7%
Note <3	26,6%	19,9%	21,8%	11,5%	8,8%	3,0%	6,2%	2,1%
Note =3	25,8%	19,7%	21,9%	11,7%	9,1%	3,1%	6,5%	2,2%
Note >3	25,0%	19,4%	22,0%	11,9%	9,3%	3,2%	6,7%	2,3%

Le remplacement d'un bus par un tramway à Paris : coûts et bénéfices

4.1 INTRODUCTION

En décembre 2006, la municipalité de Paris a fait remplacer une vieille ligne de bus par une ligne de tramway dans le Sud de la commune.

De nombreux auteurs, essentiellement américains ou australiens, ont déjà discuté les mérites et les désavantages des tramways, de manière absolue ou relative aux bus essentiellement. Certains voient les tramways comme un mode de transport efficace, que ce soit sous un angle environnemental, financier ou opérationnel, i.e. pour attirer des automobilistes (Litman [2008], Kenworthy [2008]). De nombreux autres sont bien plus critiques (Gomez-Ibanez [1985], Kain [1988], Pickerell [1992], Moore [1993], Richmond [1998], Hensher [1999], Castelazo and Garret [2004], Winston and Maheshri [2007]). Selon eux, les tramways représentent un investissement initial conséquent, non directement supporté par les collectivités locales en bénéficiant. Par ailleurs, leurs études prospectives sont souvent entachées de projections de fréquentation erronées, conduisant à une "flambée des coûts". D'une manière plus générale, ces au-

teurs dénoncent l'inefficience économique des tramways mais également les biais idéologiques et/ou politiques en leur faveur.

La ligne de tramway ouverte à Paris nous offre l'occasion de ré-ouvrir ce débat. Les tramways sont actuellement à la mode en France (Carmona [2001], Orfeuil [2008a]) : pour une municipalité, se doter d'une telle infrastructure est perçu comme un symbole de modernité et comme une contribution à la lutte contre le réchauffement climatique. Il s'agit là d'une attitude bi-partisane. La ligne de tramway que nous considérons fut initialement à l'initiative de M. Tibéri, l'ancien Maire (classé "de Droite"), puis mise en service sous le mandat de M. Delanoë, l'actuel Maire (classé "de Gauche")¹.

"Un désir nommé tramway" : si ce magnifique titre n'avait déjà été utilisé par Pikerell [1992], nous l'aurions certainement emprunté. En effet, la municipalité a (logiquement) présenté le tramway comme un grand succès. Les médias ont quant à eux chanté en chœur les louanges du projet. Faisant échos à Richmond [1998] et à son constat de "mythologie" entourant les tramways, l'opinion publique était également favorable, y compris la grande majorité des habitants n'ayant jamais vu ni pris le tramway parisien. Comme le bon sens le suggère cependant, le projet tramway a généré divers coûts et bénéfices. Il semble alors légitime de les identifier et de les mesurer en vue d'en réaliser une évaluation transparente. Ceci nous apparaît d'autant plus important que l'équipe municipale a décidé de prolonger l'expérience et d'étendre le tramway vers le Nord de la capitale².

Le reste de l'article est organisé comme suit. Dans la section (4.2), nous présentons les caractéristiques du projet et la zone géographique d'étude. A l'aide de données de trafic automobile et d'une enquête de terrain menée auprès de 1000 usagers du tramway, nous décrivons ensuite l'impact de cette infrastructure sur la répartition intra-modale et inter-modale des déplacements dans cette zone. Dans la section (4.3),

1. Ceci devrait donc nous protéger de certaines critiques.

2. Sur les éléments de l'enquête publique prospective ayant validé le retour du tramway dans Paris (Franc et al. [2003]), voir l'Introduction Générale et la Conclusion Générale.

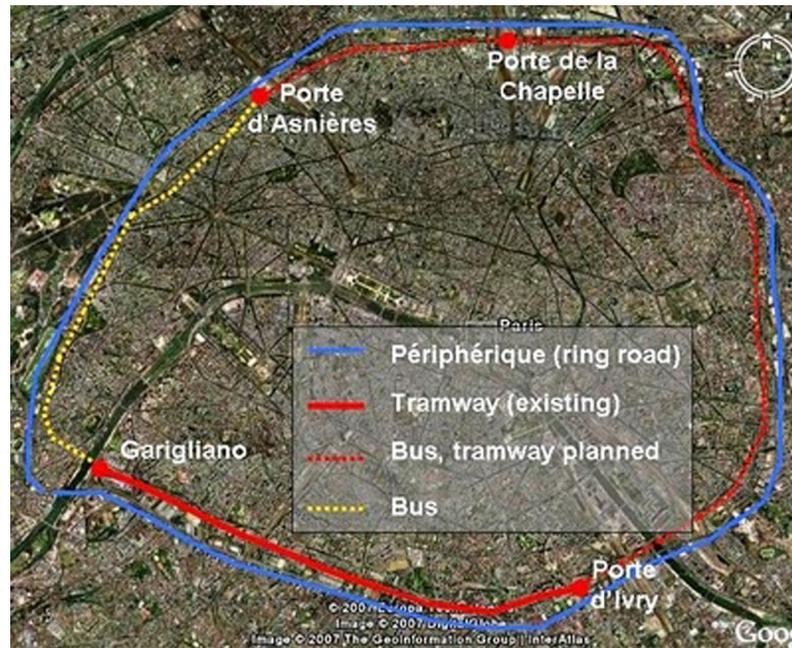
nous opérons alors aux calculs des variations de bien-être des voyageurs, que ce soit pour les utilisateurs du tramway ou pour les automobilistes utilisant toujours (ou croisant) le boulevard des Maréchaux. A ces variations de surplus, nous intégrons les effets externes du projet. Ils sont constitués de la probable congestion additionnelle sur le boulevard Périphérique adjacent, de la décongestion du métro parisien et des changements dans les émissions de CO₂. Concernant cette dernière dimension, la section (4.4) accorde une attention particulière à la relation entre vitesse de circulation et émissions de CO₂. La section (4.5) aborde les données financières qui nous permettent finalement de acaculer la Valeur Actualisée Nette du tramway des Maréchaux. Au regard des résultats, nous discutons dans la section (4.6) de la pertinence des tramways comme infrastructures permettant de réduire le trafic automobile et la congestion dans Paris.

4.2 PRÉSENTATION DU TRAMWAY DES MARÉCHAUX ET DE SON IMPACT SUR LA STRUCTURE DES DÉPLACEMENTS

4.2.1 PRÉSENTATION DU PROJET TRAMWAY ET DE SES COMPOSANTES

L'agglomération parisienne se compose de 1200 communes et compte 11 M d'habitants. La municipalité de Paris, la plus centrale et importante de ces communes, en accueille 2 M. Comme illustré sur la figure (4.1), la ville de Paris est encerclée par deux routes parallèles d'approximativement 35 kilomètres chacune. Les boulevards des Maréchaux, qui datent du début du 20^{ème} siècle et qui sont bordés d'immeubles d'habitations. Le boulevard Périphérique, une des autoroutes urbaines les plus importantes d'Europe, créé dans les années 1970, également bordé d'immeubles. Ces voies de circulation sont toutes deux distantes de 300 mètres.

Le tramway a été implanté sur une section de 7,9 kilomètres des boulevards des Maréchaux, entre Porte d'Ivry et Pont du Garigliano (l'axe IG par la suite, voir la figure (4.1)). Les déplacements sur cet axe sont d'une nature variée. La majorité de ces dé-



Graphique 4.1 – Aire géographique d'étude

placements ne sont qu'une partie de déplacements bien plus longs, ayant une origine et/ou une destination hors de la zone géographique concernée. L'agglomération parisienne est en effet un ensemble cohérent et intégré, avec d'intenses échanges entre ces différentes composantes, notamment entre la ville de Paris et les autres communes (la banlieue pour le reste de l'article)³. Une minorité des déplacements sur l'axe IG consistent donc en déplacements de proximité. Avant le lancement du tramway, l'axe IG était plutôt bien accessible pour les voitures et les camions. Il ne bénéficiait d'aucune ligne directe de métro mais était desservi par la ligne de bus "Petite Ceinture", la plus fréquentée du réseau de bus parisiens.

Le projet tramway des Maréchaux a trois composantes. La première concerne la fermeture de la ligne de bus "Petite Ceinture". La seconde réside dans la construction d'une ligne moderne de tramway, plus rapide et plus confortable que celle de bus. La dernière est associée à la réduction de l'espace viaire sur les boulevards des Maréchaux d'environ un tiers, en total accord avec la politique municipale de "régulation

3. D'après la dernière Enquête Globale Transport disponible (Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002]), les déplacements internes à Paris sont moins importants que les déplacements entre Paris et sa banlieue.

par les quantités" (Prud'homme and Kopp [2008]) et nécessaire à la mise en "site propre" du tramway⁴. La présente évaluation considère le projet tramway comme un tout, i.e. avec ses trois composantes.

4.2.2 LES DONNÉES

Le projet tramway a engendré des changements substantiels dans la structure des déplacements sur l'axe IG. Deux sources de données permettent de mesurer ces changements.

La première source provient de données de comptage des véhicules automobiles sur les boulevards des Maréchaux. Elles nous ont été délivrées par l'Observatoire de la Voirie de la ville de Paris. Ces données décrivent le trafic quotidien en 2003 et en 2007, mesuré en flux (veh/heure) sur 11 sections des boulevards, faisant en tout 4,5 kilomètres de long. Ces données peuvent être facilement transformées en *véhicules × kilomètres* (vkm par la suite) et extrapolées aux 7,9 kilomètres qui forment l'axe IG.

Nous avons choisi l'année 2003 comme année de référence car le tramway a été construit entre 2005 et 2006, perturbant largement les conditions de circulation sur les boulevards des Maréchaux à ces dates. Le nombre de vkm est passé de 152800 par jour en 2003 à 89500 vkm en 2007. Il s'agit donc d'un recul de 41% de l'usage des voitures et des camions sur l'axe IG. Ces chiffres peuvent être traduits en *passagers × kilomètres* (pkm par la suite) en les multipliant par le taux d'occupation moyen des véhicules, estimé pour l'Ile-de-France à 1,3. On obtient ainsi un nombre de déplacements automobiles de 198000 pkm avant le projet, 116000 pkm après.

La deuxième source de données provient d'une enquête de terrain menée entre avril

4. Précisons que cette dernière composante fut importante dans le processus du choix collectif préalable au lancement de l'infrastructure. Ainsi, un tracé alternatif passait par la "Petite Ceinture ferrée", i.e. ancienne voie ferrée à l'intérieur de Paris. Bien que permettant d'accueillir une infrastructure dotée de capacités supérieures, ce tracé fut écarté en partie car il ne permettait pas de redistribuer la voirie entre les véhicules automobiles et les autres modes de transport.

et mai 2007 auprès de 1000 utilisateurs du tramway, sur les quais de 10 stations⁵. Pour nous assurer une sélection aléatoire des individus, les enquêteurs laissaient passer un tramway avant d'interroger les deux premiers voyageurs se présentant sur les quais⁶. Par ailleurs, les stations et les créneaux horaires d'étude (entre 7h du matin et 20h) ont été sélectionnés en fonction de leurs poids relatifs.

Bien que nous ne disposions pas d'information sur l'âge ou le revenu des personnes interrogées, les statistiques descriptives font penser que le panel est relativement représentatif des voyageurs parisiens (voir Annexe). Notre échantillon se compose ainsi de 48% d'hommes. Les cadres représentent 22% de la population (24,7% d'employés et 21% d'étudiants). Seuls 37% des individus disposent d'une voiture comme mode de transport alternatif. Cette faible possession de véhicules automobiles concorde avec la forte proportion de Parisiens dans notre panel (Couderc [2007]), environ 58% des personnes interrogées. Les résidents des départements limitrophes à Paris, et donc proches de l'axe IG, ont également un poids non négligeable (16% habitent les Hauts-de-Seine, 13% le Val-de-Marne). Concernant les caractéristiques des déplacements, ils étaient en majorité réalisés pour un motif "domicile-travail" (à 55%), à 13% pour des motifs d'"école" et à 12% pour les "loisirs". La commune d'origine ou de destination est logiquement Paris la plupart du temps, i.e. pour respectivement 76% et 78% des déplacements. D'une manière générale, les usagers se déclaraient satisfaits du tramway, mode de transport qu'ils utilisaient entre 6 et 10 fois par semaine (47%).

Les deux questions les plus importantes pour notre analyse coûts-bénéfices concernent la longueur moyenne d'un déplacement réalisé en tramway ainsi que le mode de transport utilisé avant son arrivée sur les boulevards des Maréchaux. Pour ce qui est de la longueur moyenne d'un déplacement, on constate que le tramway est utilisé pour une distance relativement courte. Environ 60% de l'échantillon prenait ainsi le

5. La ligne comprend 18 stations.

6. La haute fréquence des tramways, mais également le fait qu'ils ne soient pas précisément programmés, impliquent que les utilisateurs arrivaient selon leur propre volonté, assurant ainsi une relative détermination aléatoire de l'échantillon.

Tableau 4.1 – Origine modale des utilisateurs du tramway

Provenance	Pourcentage	Pourcentage corrigé^a	pkm/jour
Bus	50%	57,3%	147000
Métro	33,5%	38,4%	98000
Automobiles	2,6%	3%	8000
Vélo	0,7%	0,8%	2000
Motos	0,5%	0,6%	1000
Marche à pieds	-	-	-
Mixte	12,8%	-	-
Total	100%	100%	256000

Source : Enquête de terrain

Note : ^a : Les réponses "mixte" ont été ré-allouées dans les autres modes

tramway pour 5 inter-stations au maximum, soit 2,56 kilomètres en moyenne. Pour 70% des personnes interrogées, le tramway était en effet couplé avec un autre mode de transport, le métro (63%) ou le bus essentiellement (35%).

Le tableau (4.1) présente la réponse à la question suivante : "Avant le tramway, quel mode de transport utilisiez-vous afin de réaliser ce déplacement?". Environ 13% des personnes interrogées ont cité "des modes multiples". Par conséquent, nous avons ré-alloué ces réponses dans les autres modes au pro-rata des origines mentionnées afin de construire la troisième colonne du tableau (4.1). La majorité des utilisateurs du tramway utilisaient auparavant le bus (57%), ce qui n'est pas très surprenant. Plus étonnant peut-être est l'importance des anciens utilisateurs du métro parisien (38%). On constate par ailleurs que très peu de voyageurs ont abandonné leur véhicule automobile au profit du tramway (3%)⁷. Les autres changements sont négligeables⁸.

7. Le nombre de déplacements automobiles ayant Paris pour origine et/ou destination est environ de 2,3 millions par jour (Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002]). Le report modal induit par le tramway représente à peine 1 pour 1000 de ce chiffre.

8. Un nombre infime des personnes interrogées ont répondu qu'elles n'effectuaient pas ce déplacement avant le lancement du tramway. Ce point soulève la question d'un éventuel trafic "induit". Bien que cette option n'était pas explicitement mentionnée dans l'enquête, il est possible que la plupart des personnes concernées n'habitaient pas Paris auparavant, ou bien dans une autre zone géographique de la capitale. Il faut par ailleurs reconnaître que le tramway n'est qu'un sous-ensemble de

Contrairement à des infrastructures similaires (Pickerell [1992], Moore [1993], Flyvbjerg, Holm, Skamris, and Buhl [2002]), il est notable que l'objectif affiché des 100000 voyageurs quotidiens a été atteint. En considérant une distance moyenne de 2,56 kilomètres par déplacement, cela nous donne donc 256000 pkm réalisés tous les jours avec le tramway. La dernière colonne du tableau (4.1) récapitule l'origine modale de l'utilisation du tramway, exprimée en pkm.

4.2.3 ÉVOLUTIONS DANS LA STRUCTURE DES DÉPLACEMENTS

Avant le tramway, un certain nombre de voyageurs, dénoté M, traversaient l'axe IG en métro. Un peu moins de 40000 de ces voyages sont aujourd'hui réalisés en tramway, où ils correspondent à 98000 pkm par jour. Pour tous ces individus, la situation a dû s'améliorer, ou bien ils n'auraient pas changé de mode de transport. Par ailleurs, le départ de ces voyageurs a réduit la congestion dans le métro parisien, aux bénéfices des utilisateurs qui y sont toujours présents. Concernant les 57000 déplacements qui étaient auparavant réalisés en bus, on les retrouve aujourd'hui dans le tramway où ils sont équivalents à 147000 pkm quotidiens. La situation de ces voyageurs s'est également améliorée. Environ 3000 déplacements étaient réalisés en 2003 en voiture. Désormais, ils le sont dans le tramway où ils correspondent à 8000 pkm. Finalement, on dénombre 1000 voyages antérieurement réalisés en vélo ou en deux-roues motorisés et aujourd'hui parcourus en tramway. Pour toutes les personnes prenant part à ces 100000 déplacements quotidiens, le projet tramway a généré des bénéfices.

Qu'en est-il des voyageurs qui utilisaient leurs voitures ou leurs camions sur l'axe IG en 2003 ? Comme mentionné ci-dessus, ils étaient au nombre de 198000 pkm. Suite à l'introduction du tramway, environ 59% d'entre eux continuent d'utiliser leurs véhi-

la chaîne des déplacements et sert le plus souvent à réaliser des voyages d'une plus longue portée. Ainsi, 70% des répondants déclaraient utiliser un autre mode de transport durant leur déplacement. Surtout, le tramway remplace un mode de transport (le bus) qui couvrait déjà relativement bien l'axe IG. Comme nous le verrons plus loin, les avantages du tramway par rapport au bus sont réels. Mais ils sont toutefois limités pour pouvoir générer un réel trafic "induit" à court-terme. Par conséquent, nous avons omis dans le tableau (4.1) les réponses de cette catégorie d'utilisateurs.

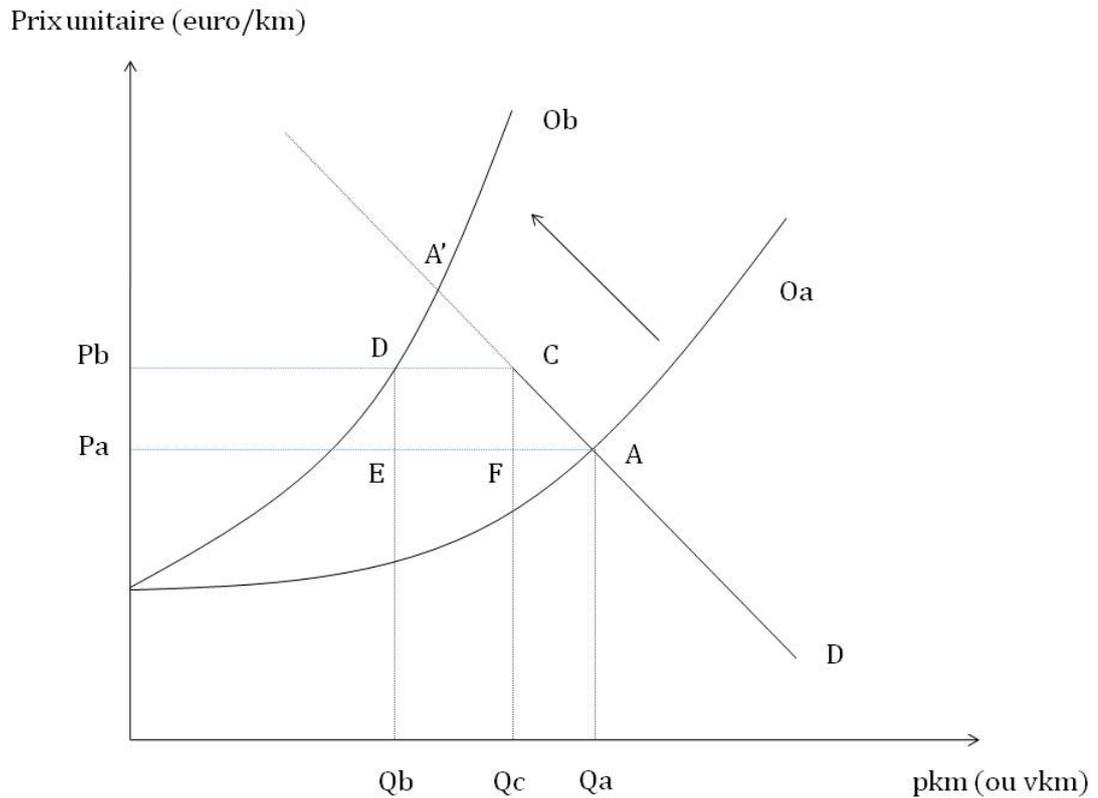
Tableau 4.2 – Impact du tramway sur la mobilité automobile

	2003 (pkm/j)	2007 (pkm/j)	2007 (%)
Boulevards des Maréchaux	198000	116000	58,7%
Baisse circulation Paris	-	10000	5,0%
Report vers le tramway	-	8000	4,0%
Manquant à l'appel	-	64000	32,3%

Source : Données de trafic et enquête de terrain

cules sur les boulevards des Maréchaux. En raisons de la hausse des prix des carburants et de la politique de restriction de l'espace viaire entreprise par l'équipe municipale, on a toutefois observé sur la période un recul de la mobilité automobile estimé à 5% par les services municipaux. En l'absence de tramway, le trafic automobile sur les boulevards des Maréchaux aurait vraisemblablement diminué d'un tel pourcentage. Il faut également considérer le report modal vers le tramway. Il correspond environ à 3,5% de la baisse de la circulation automobile sur l'axe IG. Comme illustré par le tableau (4.2), une large part des automobilistes présents en 2003 sur les boulevards des Maréchaux "manque à l'appel", i.e. 64000 pkm, soit 33%.

Une partie de ces 64000 pkm a peut-être été éliminée, générant ainsi un déclin de la mobilité. Une autre part de ces pkm manquants continue très vraisemblablement d'être réalisés en voiture, mais sur d'autres axes de circulation. La figure (4.1) permet de comprendre que le boulevard Périphérique adjacent constitue un candidat crédible. D'autres alternatives pourraient être les rues parisiennes plus ou moins parallèles à l'axe IG. Néanmoins, il n'existe que très peu de routes semblables et la plupart d'entre elles sont d'une étroitesse telle qu'elles dissuaderaient les automobilistes de s'y aventurer, sauf au risque d'engendrer d'importants épisodes de congestion (et donc d'inciter les voyageurs à emprunter le boulevard Périphérique). Pour les besoins de l'analyse, nous allons considérer que les pkm absents des boulevards des Maréchaux sont aujourd'hui parcourus sur le boulevard Périphérique. La figure (4.2)



Graphique 4.2 – Comportement des automobilistes sur les boulevards des Maréchaux

nous permet de comprendre et d'estimer ces changements.

Les courbes Oa et Ob décrivent classiquement des fonctions de "coût généralisé" d'utilisation de la route : quand la densité de voitures augmente sur la voirie, la vitesse de circulation diminue, la durée d'un déplacement augmente et le coût temporel augmente. La courbe Oa décrit la situation sur les Maréchaux avant le projet, la courbe Ob après. En raison des travaux et de la réduction de l'espace viaire nécessaires à mettre le tramway en "site propre", Ob correspond à une translation vers la gauche de Oa : la congestion a augmenté, et pour un même nombre de véhicules, la vitesse est plus faible. La droite D représente la demande de circulation automobile sur les boulevards des Maréchaux. Avant le tramway, il y avait un équilibre en A , à un coût Pa et une quantité d'utilisation Qa . Suite au projet, l'équilibre se situe en A' .

Ce dernier équilibre ignore toutefois la possibilité qu'ont les voyageurs d'utiliser une autre route pour traverser l'axe IG. Emprunter le boulevard Périphérique représente un coût P_b (évidemment supérieur à P_a , sinon les utilisateurs l'auraient utilisé avant le projet en lieu et place des boulevards des Maréchaux). Après le projet tramway, la droite de demande est donc équivalente à la demande coudée P_bCD . Elle croise Ob en B , le nouvel équilibre. Avant le tramway, il y avait Q_a voitures sur les boulevards des Maréchaux (198000 pkm), Q_b après le projet (116000 pkm). La différence entre ces deux chiffres correspond aux véhicules qui ont été éliminés ($Q_a - Q_c$) ainsi qu'aux véhicules déportés vers le boulevard Périphérique ($Q_c - Q_b$)⁹.

Nous devons maintenant allouer ces 64000 pkm manquants ($Q_a - Q_b$) entre les déplacements éliminés ($Q_a - Q_c$) et ceux désormais réalisés sur le boulevard Périphérique ($Q_c - Q_b$). Ceci peut être fait en considérant le triangle CAF . Le nombre de déplacements éliminés (FA) est fonction de l'élasticité de la droite de demande et de la hausse relative du coût $(P_b - P_a)/P_a$. L'Annexe donne plus de détails sur les valeurs de l'élasticité utilisées (Goodwin [1992], Litman [2006]) ainsi que la procédure pour estimer CF (0,102 eu/pkm) et P_a (0,602 eu/pkm). Avec une élasticité de la demande de -0,4, le nombre de pkm éliminés des boulevards des Maréchaux est égale à 5175. Avec une élasticité de -0,2, cela donne 10350. Nous supposons que ce nombre est proche de 10000 pkm. Cela implique que le nombre de véhicules qui se sont déportés vers le boulevard Périphérique atteint 54000 pkm¹⁰.

Le tableau (4.3) présente les changements de mobilité induits par l'arrivée du tram-

9. Par souci de simplification, et comme ils représentent un nombre infime, nous avons ignoré de cette représentation graphique les déplacements éliminés à cause du report modal vers le tramway ou de la baisse générale de la mobilité à Paris : ils pourraient être facilement introduits comme une translation vers la gauche de la droite de demande.

10. Cette hypothèse semble supportée par deux arguments. D'après Koning [2010], on constate tout d'abord que la vitesse de circulation sur la section Sud du boulevard Périphérique a connu une baisse de la vitesse moyenne de circulation entre 2000 et 2007 plus importante que celle observée pour l'intégralité de l'infrastructure, i.e. respectivement 37,9 km/h et 33,9 km/h (-10%) contre 45,9 km/h et 43,5 km/h (-5%). Cette évolution suggère une relation causale entre l'arrivée d'automobilistes sur le boulevard Périphérique Sud et baisse de la vitesse. Il est par ailleurs notable que les pertes de temps sur le boulevard Périphérique induites par un report depuis le boulevard des Maréchaux sont une des craintes les plus récurrentes lors de l'enquête publique menée dans le cadre de l'extension du tramway vers le Nord de la capitale.

Tableau 4.3 – Changements dans la structure des déplacements sur l'axe IG

	2003 (pkm/j)	2007 (pkm/j)	Effet
Métro	M	M-98000	Décongestion
Bus et tramway	147000	256000	Gains surplus
Total transports publics	M+147000	M+158000	
Boulevards des Maréchaux	198000	116000	Perte surplus
Boulevard Périphérique	P	P+54000	Congestion
Total voitures (et camions)	P+198000	P+170000	
Total axe IG	P+M+345000	P+M+328000	

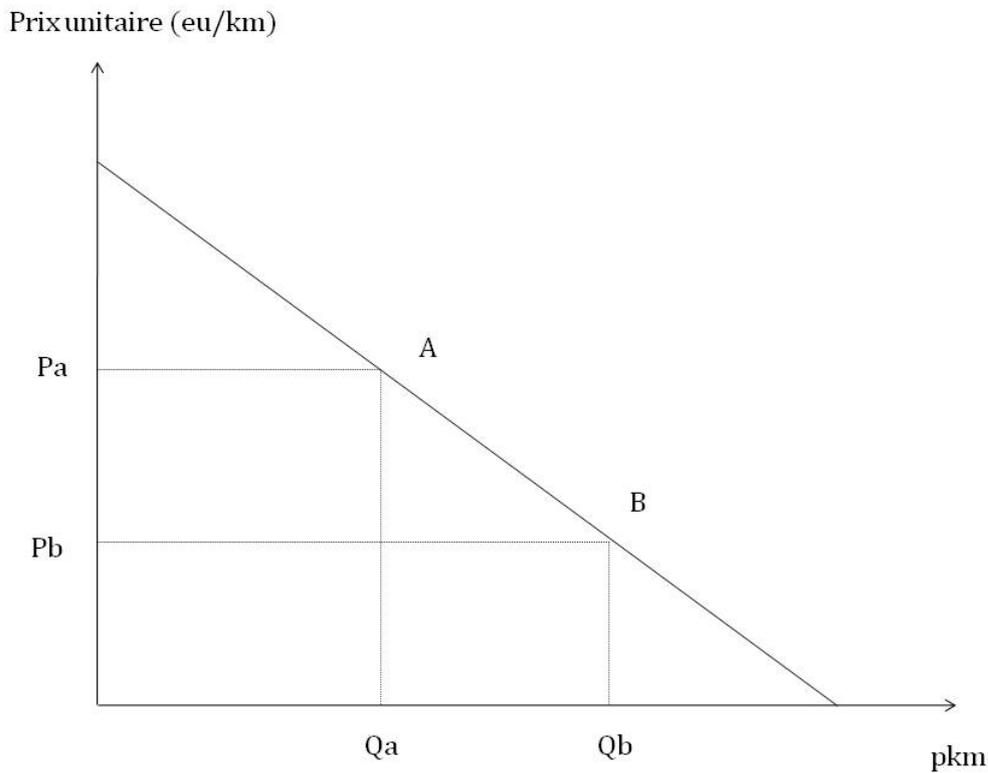
Source : Données de trafic et enquête de terrain

way sur l'axe IG. On observe que le projet a engendré : 1) d'importants transferts intra-modes pour les transports publics (du bus et du métro vers le tramway), 2) un report modal des voitures vers le tramway très limité et 3) d'importants changements de route pour les voitures (des boulevards des Maréchaux vers le boulevard Périphérique). La nouvelle offre de transports publics n'a pas provoqué une augmentation significative de la mobilité. Celle-ci a même connu un très légère réduction sur l'axe IG, de 5% environ. Nous pouvons maintenant estimer les divers bénéfices et coûts associés à ces changements.

4.3 GAINS ET PERTES DE BIEN-ÊTRE POUR LES VOYAGEURS DE L'AXE IVRY-GARIGLIANO

4.3.1 LES USAGERS DU TRAMWAY

Il est possible d'estimer les gains de bien-être des utilisateurs du tramway à l'aide de la figure (4.3). Elle représente la droite de demande de transport public sur l'axe IG. La situation avant le projet est indiquée par le point A, avec Q_a égale à 144000



Graphique 4.3 – Surplus des usagers des transports publics sur l'axe IG

pkm. Nous n'avons pas besoin de connaître Pa. Avec le tramway, nous sommes en B, avec Qb égale à 256000 et un prix unitaire Pb. Dire que le tramway est mieux que le bus revient à supposer que $P_b < P_a$. De combien ? Le remplacement du bus par le tramway présente deux avantages : il fait gagner du temps et il améliore le confort des déplacements.

Il est relativement aisé de calculer la variation de surplus économique issue des gains de temps. Elle est représentée par la surface PaPbAB sur la figure (4.3). La vitesse est passée de 16 km/h avec le bus à 18 km/h en tramway¹¹. Cela correspond à un gain de 0,317 minute par pkm. Par contre, le temps d'attente en station est désormais supérieur en raison d'une fréquence moindre des tramways : il y avait en moyenne un

11. Ce chiffre provient du rapport de la Cours des Comptes (2010). Il est plus faible que la vitesse de 20 km/h initialement prévue.

bus toutes les 3,5 minutes, contre un tramway toutes les 4 minutes. Pour un déplacement de 2,56 kilomètres, cela équivaut à une perte de temps de 0,100 minute par pkm. Les gains de temps générés par le tramway s'élèvent donc à 0,217 minute par pkm. Le coût d'opportunité du temps étant officiellement fixé à 10,2 euros par heure pour 2007 (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Équipement [2005]), PaPb est donc égale à 0,037 euro par pkm. Avec $Q_a=144000$ pkm, $Q_b=256000$ pkm, la surface PaPbAB est de 7384 euros par jour. En comptant 365 jours dans l'année¹², nous trouvons un bénéfice de 2,69 M euros par an.

Il est bien plus difficile d'estimer les bénéfices résultant d'un plus grand confort des déplacements en tramway, i.e sièges plus confortables, design des véhicules et des stations, système d'informations aux voyageurs. Divers rapports techniques et académiques mettent pourtant en avant les dimensions qualitatives des voyages (Transportation Research Board [1999], Wardman [2001], Mackett et al. [2004], Litman [2008], Li [2003]), celles-ci modifiant le "coût généralisé" supporté par les usagers.

Intégrer les multiples facettes que recouvre le concept de confort nécessiterait d'avoir recours à d'ânerieuses évaluations contingentes. Afin de prendre en compte l'amélioration de confort que représente le tramway, nous reprenons Litman [2008]. Il conclue son survey en stipulant qu'une amélioration des diverses dimensions qualitatives des voyages peut avoir un effet similaire sur le bien-être des voyageurs qu'une hausse de la vitesse. Nous approximons donc les gains de bien-être liés à un plus grand confort dans le tramway à 2,69 M euros par an.

4.3.2 LES AUTOMOBILISTES SUR LES BOULEVARDS DES MARÉCHAUX

Les pertes de temps pour les automobilistes ont trois sources que l'on peut identifier à l'aide de la figure (4.2) :

1. Les pertes de temps des Q_b voyageurs qui sont toujours sur les boulevards des

12. Il y a dans le tramway environ le même nombre d'utilisateurs durant le week-end ou la semaine.

Maréchaux mais qui circulent à une vitesse inférieure, i.e. la surface PbBEpa.

2. Le coût additionnel imposé aux Qc-Qb voyageurs par l'usage du boulevard Périphérique, i.e. la surface BCE.
3. La perte de bien-être des Qa-Qb personnes qui cessent d'utiliser leur véhicule, i.e. la surface CAF.

En d'autres termes, la perte totale de bien-être est représentée par la surface PbCAPa. Avec $Pb-Pa=0,102$ euro par pkm¹³, $Qc=178000$ pkm et $Qa=188000$ pkm, cette perte est égale à 18700 euros par jour, soit 6,72 M euros. Ce chiffre est très certainement une estimation basse des pertes de temps. Elle ignore ainsi les véhicules commerciaux qui représentent pourtant 20% environ de la circulation dans Paris et qui ont un coût d'opportunité du temps (deux à trois fois) plus élevé¹⁴.

4.3.3 L'EXTERNALITÉ DE CONGESTION SUR LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE

Le boulevard Périphérique est une autoroute urbaine très fréquentée et bien souvent congestionnée. Un véhicule additionnel sur cette infrastructure baisse la vitesse de circulation pour l'ensemble des véhicules présents, générant un coût marginal de congestion. Comme discuté précédemment, il existe de bonnes raisons de penser que le tramway et sa mise en "site propre" ont transféré vers le boulevard Périphérique 42300 vkm quotidiennement. Ceci correspond à une externalité négative qu'il convient d'estimer.

Le paramètre le plus souvent utilisé pour décrire le coût marginal de congestion, par la Commission Européenne par exemple, provient de IWWW-Karlsruhe [2000]. La perte marginale de temps est ainsi estimée à 2,70 euro par vkm en cas de trafic "dense" et à 3,10 euro par vkm en cas de "vraie congestion". Le boulevard Périphérique est au moins dans une situation de trafic "dense". En appliquant la valeur

13. Voir l'annexe pour les détails.

14. On peut ainsi calculer qu'en prenant en compte cette dimension, la perte augmenterait de 25% environ.

correspondante aux 42300 vkms additionnels, le coût externe de congestion routière atteint 114210 euros par jour, soit 43,62 M euros par an. Toutefois, le paramètre proposé par IWWW-Karlsruhe [2000] est vraisemblablement trop important. Il décrit un unique coût marginal de congestion routière alors même que ce coût varie grandement, en fonction de la vitesse de circulation et des conditions de trafic. Pour cette raison, nous préférons utiliser une méthodologie développée par Prud'homme and Sun [2000] ou Koning [2010] afin d'estimer les coûts de congestion sur le boulevard Périphérique.

Koning [2010] déduit d'une base de données la relation suivante pour la section Sud du boulevard Périphérique. Elle décrit l'évolution de la vitesse de circulation ($v(q)$) par rapport à la densité de véhicules sur un kilomètre de cette infrastructure (q) :

$$v(q) = 85,3 - 0,264 \times q \quad (4.1)$$

Conduire un kilomètre représente un coût en temps ($w=10,2$ euros/heure) et en argent ($\alpha=0,12$ euro/km), le "coût généralisé" ($I(q)$), que l'on peut écrire comme une fonction de la densité :

$$I(q) = \alpha + 10,2 \times 1,3/v(q) \quad (4.2)$$

Le coût marginal de congestion routière généré par un vkm sur le boulevard Périphérique correspond à la dérivée de ($I(q)$) multipliée par le nombre de véhicules affectés, i.e. la densité :

$$C_m(q) = 3,5 \times q / (85,3 - 0,264 \times q)^2 \quad (4.3)$$

Nous présentons en Annexe les coûts marginaux de congestion différenciés selon des

classes de vitesses de 5 km/h. Ils sont presque négligeables pour des vitesses de circulation supérieures à 50 km/h (0,1 euro par vkm) et deviennent très importants pour les classes de vitesses inférieures (18 euros par vkm avec une vitesse de 7,5 km/h).

Les données utilisées par Koning [2010] nous informent sur la distribution du trafic en 2000, par classes de vitesse de 5 km/h, sur la section Sud du boulevard Périphérique. A l'aide des équations précédentes, nous pouvons donc calculer le coût marginal de congestion routière, en supposant que les vkm déportés des boulevards des Maréchaux vers le boulevard Périphérique entrent sur cette dernière infrastructure selon la même distribution que le trafic régulier. En procédant de la sorte, le coût externe de congestion routière engendré par le projet tramway s'élève à 30,4 M euros ¹⁵.

4.3.4 LES PERTES DE TEMPS DES VÉHICULES ENTRANT DANS (OU SORTANT DE) PARIS

La plupart des radiales utilisées par les voitures afin d'entrer dans (ou sortir de) Paris sont perpendiculaires aux boulevards des Maréchaux, et donc à la ligne de tramway. Ces intersections sont régulées par des feux de circulation. Contrairement aux bus qu'il remplace, le tramway bénéficie de la priorité à ces intersections. Ceci impose donc des pertes de temps aux automobilistes.

D'après la Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002], le nombre quotidien de véhicules reliant Paris et sa banlieue était de 1,63 M en 2001. La ligne de tramway que nous étudions représente environ un quart de l'ensemble des boulevards des Maréchaux, ce qui revient à considérer que 407000 passagers sont potentiellement concernés par ces pertes de temps tous les jours. Nous avons estimé à 20 secondes (1/180 d'heure) le temps d'attente moyen en raison du passage d'un tramway. Étant donnée que la fréquence du tramway est de 3,5 minutes (210 secondes), on peut donc calculer que la probabilité d'être arrêté est environ d'un dixième. Ce chiffre doit être doublé afin de prendre en compte le fait que le tramway circule dans les

15. Les détails des calculs sont présentés en Annexe.

deux sens. Le ralentissement imposé par la priorité accordée au tramway concerne au final 81400 voyageurs par jour. Les pertes de temps associées se chiffrent quant à elles à 1,83 M euros par an.

4.3.5 LA DÉCONGESTION DU MÉTRO PARISIEN

Comme indiqué dans les tableaux (4.1) et (4.3), l'utilisation du métro parisien a baissé de 98000 pkm par jour en raison du report modal vers le tramway. Le réseau de métro parisien étant souvent saturé, cette baisse de la fréquentation doit se traduire par des coûts de congestion moindres dans le métro. Il s'agit là de l'effet opposé à celui considéré pour le boulevard Périphérique.

Ces bénéfices externes de décongestion sont difficiles à estimer. Il existe certes des études, majoritairement qualitatives, discutant des effets des encombrements dans les transports publics sur le stress et le bien-être des voyageurs (Wener et al. [2005], Cox, Houdmont, and Griffiths [2006], Cantwell et al. [2009]). Peu d'entre elles relient quantitativement l'utilité des passagers et le niveau de congestion dans les véhicules, permettant ainsi d'approximer la variation de surplus induite par le désengorgement des métros.

Nous reprenons Haywood and Koning [2011] qui ont mené une évaluation contingente de la valorisation du confort des déplacements dans le métro parisien. En étudiant les "préférences déclarées" d'un panel de 600 utilisateurs du métro, Haywood and Koning [2011] concluent que les voyageurs seraient prêts à rallonger la durée de leurs déplacements de 5,7 ou 8,1 minutes (une augmentation de 29-42% du "budget temps de transport") afin de jouir du niveau de confort des heures creuses durant les heures de pointe, i.e. $2,4 \text{ voy}/m^2$ contre $1,3 \text{ voy}/m^2$, soit environ -85%.

Reprenant le cadre d'analyse "pigouvien", ils déduisent de ces chiffres un bénéfice marginal de décongestion du métro durant les heures de pointe égale à 0,23-0,28

euro par pkm. Sachant que 47% de l'utilisation du métro parisien a lieu durant les heures de pointes, et faisant donc l'hypothèse que 47% des pkm maintenant réalisés dans le tramway l'étaient autrefois dans le métro durant les heures de pointe, on trouve un bénéfice de décongestion égale à 3,2-3,8 M euros par an.

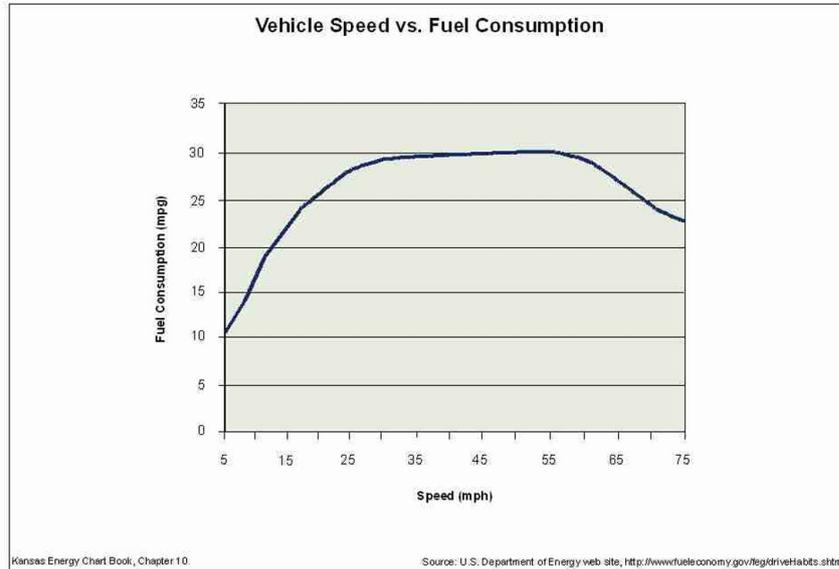
Ces estimations doivent être considérées avec prudence et nécessitent des recherches ultérieures sur la thématique du confort des déplacements dans le métro parisien. Il est toutefois notable que les gains de décongestion du métro parisien sont une composante importante, si ce n'est primordiale, de la présente analyse coûts-bénéfices.

4.4 LES IMPACTS DU TRAMWAY SUR LES ÉMISSIONS DE CO2

Le projet tramway a eu 5 impacts sur les rejets de CO2. Deux sont positifs. Ils proviennent du remplacement des bus par le tramway et, dans une moindre mesure, du report modal des voitures vers le tramway. Deux autres sont négatifs. Ils sont associés au rallongement des déplacements automobiles ainsi qu'à la baisse de vitesse de circulation des voitures et des camions. Le signe du dernier effet, relatif au déclin de la mobilité, est inconnu. Il est nécessaire d'essayer de mesurer ces effets. Pour cela, un détour par l'étude du lien entre émissions de CO2 et vitesse de circulation semble utile.

4.4.1 LA RELATION ÉMISSIONS DE CO2-VITESSE

La consommation d'essence des véhicules est fonction de la vitesse de circulation. Elle est infinie lorsque la vitesse est proche de zéro puis baisse régulièrement lorsque celle-ci augmente, jusqu'à 40-50 km/h. Ensuite, la consommation d'essence stagne jusqu'à 90-100 km/h, avant de ré-augmenter. La figure (4.4), issue du site web du Département Américain de l'Energie le montre clairement.



Graphique 4.4 – La relation vitesse-émissions de CO2

Il est possible de déterminer la fonction reliant la consommation d'essence à la vitesse de circulation pour l'intervalle 0-30 miles/h, i.e. 0-50 km/h. Il faut pour cela considérer deux points de la figure (4.4) : le point où la courbe coupe l'axe des abscisses¹⁶ et le point correspondant à une vitesse de 30 miles/h¹⁷. Pour des vitesses supérieures à 30 miles/h, la consommation est constante, au moins dans les zones urbaines où la vitesse dépasse rarement les 60 miles/h.

A l'aide de cette fonction, il est possible de multiplier la consommation d'essence par le volume de CO2 émis par un litre d'essence (2,35 kg). Cela nous donne la relation émissions de CO2-vitesse suivante¹⁸ :

16. A une vitesse de 5 miles/h (8,04 km/h) correspond une consommation d'essence de 10 miles/gallon (0,23 l/km). Cette relation est à peu près linéaire entre les deux points.

17. Une vitesse de 30 miles/h (48,3 km/h) correspond à une consommation de carburant de 30 miles/gallon (0,078 l/km).

18. Nous n'avons pas trouvé de relation similaire dans le cas français. Renault nous a toutefois communiqué que pour les vitesses urbaines, passer de 10 km/h à 20 km/h équivaut à une économie de carburant de 25%. Notre relation aboutit à une économie de 17%.

$$\text{Pour } v < 50 \text{ km/h : } CO_2(v) = 0,624 - 0,00925 \times v$$

$$\text{Pour } v > 50 \text{ km/h : } CO_2(v) = 0,160$$

4.4.2 LE REMPLACEMENT DES BUS

La fréquence des bus "Petite Ceinture" remplacés par le tramway était de 17 véhicules par heure durant les heures de pointe. En comptant volontairement 18 heures de pointe, il y avait donc 306 bus sur l'axe IG, réalisant quotidiennement 2417 *bus* × *kilomètres* (bkm). D'après les statistiques annuelles de la RATP (RATP [2008]), les bus consomment 0,567 litre de diesel par bkm. Les bus éliminés des boulevards des Maréchaux consommaient donc 1370 litres de diesel et émettaient 3,22 tonnes de CO2 par jour, soit 1175 tonnes par an. En supposant que le tramway fonctionne avec de l'électricité nucléaire, et que celle-ci ne génère pas de CO2 durant sa production, le projet "économise" donc ces émissions.

4.4.3 LE REPORT MODAL VERS LE TRAMWAY

Le tramway a induit un report modal quotidien de 8000 pkm depuis les véhicules automobiles. Cela correspond à 6154 vkm conduits en moins. En supposant à nouveau une vitesse moyenne de circulation de 20 km/h en 2003, i.e. une émission de CO2 correspondant à 0,439 kg/km, ces véhicules émettaient 2,87 tonnes de CO2 par jour sur les boulevards des Maréchaux, i.e. 1035 tonnes par an. Ce n'est plus le cas en 2007.

4.4.4 LA BAISSSE DE LA VITESSE SUR LES BOULEVARDS DES MARÉCHAUX

La réduction de 36% du nombre de véhicules automobiles utilisant l'axe IG peut uniquement s'expliquer par une hausse du "coût généralisé" d'utilisation des boulevards

des Maréchaux. Comme expliqué précédemment, cette hausse provient de la baisse de la vitesse de circulation ainsi que du coût en temps nécessaire pour réaliser le détour vers le boulevard Périphérique.

Nous avons estimé ce sur-coût à 2,4 minutes par voyage (voir Annexe). En considérant une vitesse initiale de 20 km/h, ceci équivaut à une vitesse de 16,7 km/h après le projet, i.e. une baisse de 17%. A l'aide de la relation émissions de CO₂-vitesse, on trouve donc une émission additionnelle de 27 grammes de CO₂ par vkm conduit sur les boulevards des Maréchaux. En multipliant cette différence avec le nombre de vkm toujours présents sur l'axe IG (89500 vkm), on obtient 2,5 tonnes de CO₂ émis en plus quotidiennement, soit 900 tonnes par an¹⁹.

4.4.5 LE DÉTOUR VERS LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE

D'après notre hypothèse de détour vers le boulevard Périphérique, les véhicules qui ont abandonné les boulevards des Maréchaux réalisent environ 800 mètres de plus qu'auparavant. Par conséquent, ils consomment plus d'essence et émettent plus de CO₂. Ce phénomène concerne environ 43000 vkm quotidiennement. En considérant une distance moyenne de 4 kilomètres par véhicule, cela donne 10275 voyages. En multipliant ce dernier chiffre par 800 mètres, nous trouvons donc 8460 vkm parcourus en plus tous les jours afin de rejoindre le boulevard Périphérique. Avec une vitesse moyenne de circulation de 20 km/h, i.e. 0,439 kg de CO₂ par km, et 365 jours dans une année, les émissions de CO₂ supplémentaires se chiffrent à 1356 tonnes.

4.4.6 LA CONGESTION ADDITIONNELLE SUR LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE

Le principal impact environnemental du projet tramway pourrait être associé à la hausse de la congestion routière sur le boulevard Périphérique liée aux véhicules dé-

19. Nous aurions trouvé un chiffre encore plus important si nous avons considéré les émissions supplémentaires des véhicules commerciaux, i.e. plus polluants.

tournés des boulevards des Maréchaux. Ces automobiles additionnelles ralentissent en effet l'intégralité du trafic sur la section Sud de l'infrastructure, augmentant les émissions de CO2 d'un plus grand nombre de véhicules. Il s'agit plus ou moins du pendant environnemental de l'externalité de congestion étudiée précédemment. Cette conséquence peut être calculée avec une plutôt bonne précision. Pour des vitesses inférieures à 50 km/h, nous avons ainsi :

$$CO2(v) = \lambda + \mu \times v = 0,624 - 0,00925 \times v \quad (4.4)$$

Et :

$$v(q) = \gamma + \beta \times q = 85,3 - 0,264 \times q \quad (4.5)$$

En combinant les deux équations précédentes, nous trouvons :

$$CO2(q) = \lambda + \mu \times \beta + \mu \times \beta \times q \quad (4.6)$$

L'émission marginale de CO2 ($CO2_m(q)$) causée par l'ajout d'un véhicule à un trafic représenté par une densité q correspond à la dérivée de cette fonction multipliée par q :

$$CO2_m(q) = (CO2(q))' \times q = \mu \times \beta \times q = 0,0024 \times q \quad (4.7)$$

Il est alors aisé de calculer l'émission marginale de CO2 par classe de vitesse (et niveau de densité correspondant). Il suffit ensuite de multiplier cette émission marginale par le nombre de vkm additionnels dans chaque classe de vitesse, puis d'en faire

la somme²⁰. En considérant 42300 vkm déportés des boulevards des Maréchaux tous les jours, la baisse de la vitesse de circulation sur le boulevard Périphérique correspond à un excès de 8,1 tonnes de CO₂ par jour, soit 2958 tonnes par an.

4.4.7 LA RÉDUCTION DE LA MOBILITÉ

Un certain nombre de personnes voyageant auparavant sur l'axe IG en voiture ne se déplacent plus du tout sur cet axe. S'ils restaient chez eux, ceci correspondrait à une baisse des émissions de CO₂. Il est néanmoins plus vraisemblable que ces gens ont remplacé leurs déplacements sur l'axe IG par d'autres types de voyages, probablement inter-banlieues, et que ces nouveaux déplacements sont plus longs et donc plus polluants. Ne sachant précisément comment évaluer cet effet, nous l'ignorons dans cette étude.

Le Tableau (4.4) synthétise l'ensemble des conséquences environnementales du projet tramway. Ces chiffres sur-estiment certainement les émissions de CO₂. Les moteurs sont en effet devenus plus "verts" en 2007 qu'ils ne l'étaient en 2003 (Union Routière Française [2007], Orfeuil [2008a]). Toutefois, les phénomènes décrits ci-dessus impliquent nécessairement des émissions supplémentaires, notamment la baisse de la vitesse de circulation. En faisant l'hypothèse "ceteris paribus", nous observons que le tramway a paradoxalement contribué à une hausse des émissions de CO₂ de 3000 tonnes par an. En retenant une valeur de 100 euros par tonne de CO₂ émise, nous obtenons un coût social d'un peu moins de 0,3 M euros. Ce montant est négligeable au regard des autres coûts et bénéfices.

20. Les détails des calculs sont fournis en Annexe.

Tableau 4.4 – Impacts du projet tramway sur les émissions de CO2

(tonnes/an)	2003 (tonnes/an)	2007 (tonnes/an)	Différence
Retrait des bus	1175	0	- 1175
Report modal	1035	0	- 1035
Baisse vitesse Maréchaux	14144	15046	900
Détours Périphérique	0	1356	1356
Baisse vitesse Périphérique	-	-	2958
Total			3004

Source : Calculs des auteurs

4.5 L'ÉVALUATION SOCIO-ÉCONOMIQUE DU TRAMWAY DES MARÉCHAUX

4.5.1 LES AUTRES DONNÉES

Les informations relatives aux coûts financiers du projet sont plutôt rares. L'enquête publique du projet tramway nous fournit essentiellement les données relatives aux coûts ex ante de l'investissement initial, 341,8 M euros, et celles liées à l'exploitation du tramway, 43,9 M euros (Franc et al. [2003]). L'expérience suggère que les coûts de construction ex post connaissent une majoration, i.e. la "flambée des coûts" (Flyvbjerg et al. [2002]). Nous supposons que ce ne fut pas le cas du tramway parisien et que les estimations financières sont justes. Le projet étant intégralement financé sur deniers publics, il est recommandé dans le cadre des analyses coûts-bénéfices de multiplier la dépense d'investissement par le coût d'opportunité des fonds publics. Celui-ci est officiellement fixé à 1,3 par le Commissariat Général au Plan français. L'investissement initial se chiffre donc à 443,3 M euros.

Concernant les coûts opérationnels, nous sommes seulement intéressés par la diffé-

rence entre ceux associés au fonctionnement de l'ancienne ligne de bus "Petite Ceinture" et ceux du tramway. Cette position se justifie essentiellement par le fait que le coût opérationnel marginal du tramway est proche de zéro. Les coûts opérationnels des bus parisiens ne sont pas publiés. À la place, la RATP fournit le coût opérationnel moyen d'un voyage sur son réseau (comprenant les métros donc) : 1,07 euro par voyage (RATP [2008]). Les bus remplacés transportaient 55000 voyages quotidiennement. Cela suggère que les coûts d'exploitation du bus "Petite Ceinture" étaient de 17,78 M euros par an. Si nous considérons le même coût unitaire pour le tramway, nous trouverions un coût opérationnel 74% plus important, i.e. environ 13 M euros en plus. Toutefois, nous avons de bonnes raisons de penser que le coût unitaire d'un tramway est inférieur. Nous postulons donc que les coûts opérationnels du tramway sont égaux à ceux des bus.

Concernant les paiements des utilisateurs des transports publics, ils sont peu affectés par l'introduction du tramway. En effet, la très grande majorité des voyageurs disposaient déjà d'un abonnement. Cependant, nous avons vu que le tramway a attiré 4300 nouveaux voyageurs par jour, i.e. les automobilistes. S'ils payaient tous le coût monétaire moyen de 0,64 euro par voyage²¹, les recettes de la RATP augmenteraient de 1 M euros par an. Néanmoins, il est vraisemblable qu'une partie des nouveaux utilisateurs disposaient déjà d'un abonnement. Ces voyageurs prennent donc le tramway à un coût marginal nul. Pour éviter toute critique, nous supposons qu'ils paient tous l'intégralité du coût additionnel, étant néanmoins conscients qu'il s'agit là d'une sur-estimation (sur un montant négligeable).

4.5.2 VALEUR ACTUALISÉE NETTE DU PROJET TRAMWAY

Le tableau (4.5.2) reprend les différents éléments de notre évaluation socio-économique. Ils se rapportent aux changements induits par le projet, par référence à la situation ex

21. Ce chiffre est obtenu en divisant les recettes totales de la RATP issues des paiements individuels par le nombre total de voyageurs empruntant le réseau (RATP [2008]).

ante, i.e. avec la ligne de bus "Petite Ceinture" et l'ancienne voirie sur les boulevards des Maréchaux. Certaines des estimations proposées sont plus fragiles que d'autres. Deux en particulier nécessitent une certaine prudence : les gains de confort générés par le tramway ainsi que les pertes de temps pour les automobilistes entrant ou sortant de Paris. Nous aurions pu choisir de ne pas prendre en compte ces effets lors du calcul de la Valeur Actualisée Nette du projet. Nous avons toutefois considéré que des estimations fragiles étaient toujours mieux qu'aucune estimation : nous traitons de changements dans la structure de la mobilité bien réels. Il nous semble important de les identifier, de les discuter et d'essayer de les quantifier.

Coûts et bénéfices du projet tramway		
	2007	Solde annuel (M euros)
Investissement initial	- 443,34	
Coûts opérationnels		pm
Surplus de l'opérateur		+ 1,00
Surplus des usagers des transports publics :		
Gains de temps		+ 2,69
Gains de confort		+ 2,69
Surplus des automobilistes :		
Baisse vitesse Maréchaux		- 6,72
Ralentissement aux croisements		- 1,83
Externalités :		
Congestion Périphérique		- 30,40
Décongestion du métro		+ 3,80
Sur-émissions de CO2		- 0,30
Total	- 444,34	- 29,07

Source : Calculs des auteurs et données de l'Enquête Publique

Du point de vue socio-économique, le projet tramway apparaît déplorable : il n'a pas seulement nécessité un investissement financier considérable, les divers coûts annuels qu'il génère dépassent largement ses bénéfices. Il est impossible de calculer un

taux de rendement interne dans la mesure où il n'existe pas de taux d'actualisation permettant d'égaliser la somme des "cash-flows" actualisés (négatifs) avec l'investissement initial. Répétons pour les non-spécialistes qu'il n'est pas question ici de flux purement financiers, mais de ressources sociales, économiques et environnementales. La Valeur Actualisée Nette du projet calculée pour un horizon de 30 années et à l'aide du taux d'actualisation officiel de 4% (Commissariat Général du Plan [2005]) est de - 947 M euros. Il s'agit d'une estimation des ressources gâchées par le tramway.

Une autre manière de présenter nos résultats consiste à annualiser le coût d'investissement et à l'additionner avec le solde entre bénéfices et coûts. Le coût annuel de l'investissement est égal au coût d'opportunité du capital utilisé plus son amortissement. Avec un coût d'opportunité du capital de 4% et une période d'amortissement de 30 ans, nous trouvons un coût annualisé du capital de -32,58 M euros. En y ajoutant le solde annuel entre coûts et bénéfices de -29,07 M euros, le coût annualisé total atteint - 61,65 M euros.

4.5.3 DISCUSSION

La plupart des coûts estimés - la variation négative du surplus des automobilistes sur les boulevards des Maréchaux, l'externalité de congestion - sont plus une conséquence de la réduction de l'espace viaire que du tramway en lui-même. Les tramways comme mode de transport ne sont pas nécessairement aussi "mauvais" que ne le laisse paraître la présente analyse. Deux remarques cependant.

La première tient au fait que le projet tramway fut présenté comme un "tout" cohérent. Ainsi, il était nécessaire de réduire la taille de la voirie disponible pour les véhicules sur les boulevards des Maréchaux afin de donner au tramway la priorité de "site propre". La seconde remarque porte sur les bénéfices générés par le tramway : même en ignorant les pertes infligées aux automobilistes, ils ne suffisent pas à justifier l'important investissement. Ces bénéfices atteignent 8,48 M euros, dont 1300

Conclusion

tonnes de CO2 économisées par an, soit un gain de 0,13 M euros. La Valeur Actualisée Nette du projet, toujours calculée sur 30 ans et au taux de 4%, reste amplement négative : - 298 M euros (voir Annexe).

Cette analyse repose sur des données correspondant à l'année 2007. Nous n'avons pas essayé de prévoir les changements possibles dans la structure des déplacements pour les 30 années à venir. Il est toutefois difficile d'imaginer que l'utilisation du tramway va substantiellement augmenter dans le futur²² Si jamais elle venait à augmenter, l'offre de tramway devrait également s'ajuster. Et ce à grands coûts ou alors la congestion dans le métro se généraliserait à l'ensemble du réseau. Est-il ensuite possible que l'extension du tramway sur le reste des boulevards des Maréchaux engendre des "externalités de réseau" ? Celles-ci seraient vraisemblablement limitées dans la mesure où elles existaient déjà avec la ligne de bus "Petite Ceinture" et qui dessert l'intégralité des boulevards des Maréchaux. Il est par ailleurs important de noter que la durée nécessaire pour relier Pont du Garigliano à la Porte de la Chapelle (terminus de l'extension en cours) prendra 1h et 15 minutes, contre 45 minutes en utilisant le boulevard Périphérique.

4.6 CONCLUSION

Cette recherche ne prétend pas être le dernier mot sur l'évaluation économique du tramway parisien. Nous avons noté des lacunes théoriques et/ou factuelles nécessitant des approfondissements futurs. Toutefois, nos résultats semblent assez robustes pour autoriser quelques conclusions.

La ligne de tramway ouverte sur la section Sud des boulevards des Maréchaux est un succès apparent. Elle a attiré les utilisateurs de la ligne de bus qu'elle a remplacée, ainsi qu'un important (et imprévu) nombre d'utilisateurs des métros parisiens. Tous

22. La mobilité n'est pas en train d'augmenter à Paris. Elle a au contraire commencé à baisser depuis plus de 10 ans.

ces voyageurs bénéficient au projet : ils se déplacent un peu plus rapidement qu'auparavant, et ce dans des conditions plus confortables. De plus, la décongestion du métro améliore la situation d'un grand nombre de personnes. Ces bénéfices représentent environ 10 M euros par an. Il est intéressant de constater que le gain le plus important provient du report modal depuis le métro et de la baisse de sa congestion.

Afin d'assurer la mise en "site propre" du tramway, une importante réduction de l'espace viaire disponible pour les voitures sur les boulevards des Maréchaux a été simultanément décidée. Ces aménagements de la voirie ont eu pour conséquences d'y augmenter la congestion routière et de réduire de 40% la circulation automobile sur ces boulevards. Malgré les améliorations dans l'offre de transports publics et la hausse du "coût généralisé" des déplacements en voiture, très peu d'automobilistes ont opté pour le tramway. A peine 3% des utilisateurs du tramway utilisaient ainsi ce mode de transport auparavant. Où sont-ils passés ?

Il se peut que certains d'entre eux se soient découragés et ne se déplacent plus sur l'axe IG. Nous avons fait l'hypothèse, somme toute la plus vraisemblable, que la très grande majorité de ces automobilistes utilisent aujourd'hui le boulevard Périphérique, parallèle et distant de 300 mètres. Les conséquences de ce report sur le surplus économique sont considérables. Se faisant, les automobilistes empruntent en effet des routes plus longues. Surtout, leur arrivée sur l'infrastructure engendre une importante externalité de congestion routière.

Malgré certaines limites dans notre approche, il semblerait que le projet ne puisse être sauvé par ses bénéfices environnementaux. Le remplacement des bus (fonctionnant au diesel) par un tramway électrique ne réduit pas les émissions de CO₂. La diminution des rejets est, ceteris paribus, plus que compensée par des déplacements plus longs et la baisse des vitesses de circulation, que ce soit sur les boulevards des Maréchaux ou sur le boulevard Périphérique.

Les tramways sont à la mode. Mais comme disait Jean Cocteau, "la mode, c'est ce qui

Conclusion

se démode". Du point de vue de l'économie politique cependant, le projet semble positif pour la municipalité de la Paris. Les bénéfices sont essentiellement pour les utilisateurs du tramway, en majorité (58%) Parisiens, i.e. des électeurs. Les coûts portent plutôt sur les automobilistes, dont une grande partie résident dans le reste de l'agglomération francilienne et ne votent donc pas à Paris. En regardant la structure des coûts financiers de l'investissement, on observe que l'essentiel a été à la charge de la région Ile-de-France ou du gouvernement central. Le reste fut payé par les taxes locales, en grande partie supportées par les entreprises et donc largement indolores pour les électeurs Parisiens²³. Concernant le bilan environnemental, il est certes négatif, mais quasi-invisible. Surtout, les voitures en moins sur les boulevards des Maréchaux se "remarquent" plus que la congestion additionnelle sur le boulevard Périphérique.

D'après Hensher [1999], les tramways sont des "engagements aveugles". Une telle cécité permettrait donc de comprendre pourquoi le projet tramway a eu, et continue d'avoir, la faveur des élus parisiens. L'extension actuelle du tramway vers le Nord des boulevards des Maréchaux - pour un coût estimé à plus de 800 M euros - a rencontré très peu d'opposition : les travaux sont déjà bien avancés et l'infrastructure sera mise en service à la fin de l'année 2012.

23. La participation financière de la ville de Paris aux coûts financiers de l'infrastructure est de 15% du montant total (Franc et al. [2003]).

4.7 ANNEXES

4.7.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'ENQUÊTE DE TERRAIN

Tableau 4.5 – Catégories socio-professionnelles des personnes interrogées

	Employé	Etudiant	Fonctionnaire	Cadre
Nombre	179	167	106	168
Pourcentage	23,70%	22,10%	14,00%	22,20%
	Ouvrier	Commerçant	Retraité	Sans-emploi
Nombre	27	38	52	19
Pourcentage	3,60%	5,00%	6,70%	2,50%

Source : Enquête de terrain

Tableau 4.6 – Départements de résidence, d'origine et de destination des utilisateurs du tramway

	Paris				Autres		
	13ème	14ème	15ème	autres	92	94	autres
Commune résidence							
Nombre	138	211	135	110	165	128	129
Pourcentage	13,60%	20,80%	13,30%	10,80%	16,20%	12,60%	12,70%
Commune origine							
Nombre	176	325	185	83	112	66	69
Pourcentage	17,30%	32,00%	18,20%	8,20%	11,00%	6,50%	6,80%
Commune destination							
Nombre	183	255	224	127	93	76	58
Pourcentage	18,00%	25,10%	22,00%	12,50%	9,20%	7,50%	5,70%

Source : Enquête de terrain

Tableau 4.7 – Motifs des déplacements en tramway

	Travail	Ecole	Loisirs	Visites	Courses	Autres
Nombre	560	126	124	107	53	46
Pourcentage	55,10%	12,40%	12,20%	10,50%	5,20%	4,50%

Source : Enquête de terrain

Tableau 4.8 – Fréquence hebdomadaire d'utilisation du tramway

	1 fois	2-5 fois	6-10 fois	11-20 fois	Plus de 20 fois
Nombre	164	221	481	83	67
Pourcentage	17,40%	21,80%	47,30%	8,20%	6,60%

Source : Enquête de terrain

Tableau 4.9 – Nombre d'inter-stations réalisées en tramway

	1	2-3	4-5	6-10	11-15	Plus de 15
Nombre	117	273	230	301	83	12
Pourcentage	11,50%	26,80%	22,60%	29,60%	8,20%	1,20%

Source : Enquête de terrain

Tableau 4.10 – Autres modes de transport utilisés par les voyageurs du tramway, 70% de l'échantillon

	Métro	Bus	Voiture
Nombre	450	247	14
Pourcentage	63,30%	34,70%	2,00%

Source : Enquête de terrain

4.7.2 ESTIMATIONS DE LA RÉDUCTION DE LA MOBILITÉ ET DU REPORT VIAIRE

Les estimations du nombre de vkm éliminés par le projet tramway font référence à la figure (4.2). Ce nombre est égale à $Q_a - Q_c$, ou FA , ou encore Δq . Appelons ϵ l'élasticité de la droite de demande en A . Nous avons :

$$\epsilon = \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta p}{p}} \quad (4.8)$$

On peut donc écrire :

$$\Delta q = \epsilon \times q \times \frac{\Delta p}{p} \quad (4.9)$$

Et :

$$FA = \epsilon \times Q_a \times \frac{P_b - P_a}{P_a} \quad (4.10)$$

Nous connaissons déjà $Q_a = 152300$ vkm par jour. Pour déterminer P_a , il nous faut le coût d'opportunité du temps, le nombre de personnes par voiture, la vitesse automobile sur le boulevard des Maréchaux avant le projet et le coût fixe d'utilisation d'un véhicule. La valeur du temps est officiellement fixée à 10,2 euros par heure pour la région Ile-de-France en 2007 (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Équipement [2005]). Le taux d'occupation d'un véhicule est de 1,3 tandis que la vitesse sur les Maréchaux en 2003 peut être estimée à 20 km/h. Le coût monétaire d'un kilomètre équivaut quant à lui à 0,12 euro. Nous obtenons donc :

$$P_a = 0,12 + \frac{10,2 \times 1,3}{20} = 0,783 \quad (4.11)$$

Ce "coût généralisé" est exprimé en euro par vkm. La différence $P_a - P_b$ représente le sur-coût généré par le détour vers le boulevard Périphérique. Nous supposons que ce détour revient à 2 fois 400 mètres, soit 800 mètres. Réalisé à une vitesse de 20 km/h, le détour induit donc un coût additionnel de $10,2 \times 1,3 \times \frac{0,8}{20} = 0,530$ euro. En faisant

l'hypothèse qu'un déplacement sur l'axe IG est de 4 kilomètres, nous trouvons $P_b - P_a = 0,133$ euro/vkm. Concernant l'élasticité de la demande, Litman [2006] ou Goodwin [1992] proposent des valeurs comprises entre -0,6 et -0,8. Ces élasticités correspondent toutefois à des voyages entiers. Elles sont donc inappropriées pour des déplacements automobiles sur l'axe IG, ceux-ci étant vraisemblablement une portion de déplacements plus longs. La demande sur les boulevards des Maréchaux est donc plus inélastique relativement au prix d'utilisation de l'axe IG. Pour cette raison, nous retenons une élasticité moindre, i.e. -0,3.

Avec ces différentes valeurs, nous trouvons $FA = Q_a - Q_c = 7760$ vkm, ou bien (à l'aide du taux d'occupation d'un véhicule) 10000 pkms environ. Ce nombre correspond aux pkms éliminés des Maréchaux. Ils représentent environ 16% des pkms "absents". Les 84% restant correspondent aux personnes utilisant toujours leurs véhicules, mais dorénavant sur le boulevard Périphérique. Bien évidemment, ce résultat est sensible à la valeur de l'élasticité demande retenue. Avec une élasticité de -0,2 la part des vkm éliminés descend à 11%. Avec -0,4, nous trouvons 22%.

4.7.3 EXTERNALITÉS DE CONGESTION ET ENVIRONNEMENTALE SUR LE BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE

Tableau 4.11 – Coûts marginaux de congestion et émissions marginales de CO2 sur le boulevard Périphérique Sud

Vitesse (km/h)	Densité (veh/km)	Distribution (%)	Coût marginal (eu/vkm)	Report viaire (vkm)	Externalité congestion (euros)	Émissions marginales (kg/vkm)	Externalité CO2 (kg)
2,5	314	0,004	175,75	158	27732	0,753	119
7,5	295	0,032	18,35	1363	25012	0,708	965
12,5	276	0,060	6,18	2556	15800	0,662	1693
17,5	257	0,051	2,94	2158	6340	0,617	1331
22,5	238	0,045	1,65	1920	3160	0,571	1097
27,5	219	0,046	1,01	1943	1971	0,526	1022
32,5	200	0,036	0,66	1527	1013	0,480	734
37,5	181	0,026	0,45	1098	495	0,435	478
42,5	162	0,021	0,31	885	278	0,390	345
47,5	143	0,022	0,22	937	208	0,344	323
52,5	124	0,029	0,16	1242	196	0	0
57,5	106	0,056	0,11	2382	266	0	0
62,5	87	0,096	0,08	4073	316	0	0
67,5	68	0,149	0,05	6301	327	0	0
72,5	49	0,183	0,03	7752	251	0	0
> 75	1	0,142	0,00	6005	4	0	0
Total journalier	-	100	-	42300	83370		8105
Total Annuel (M)	-	-	-	15,44	30,43		2,96

Source : Calculs des auteurs et ?

4.7.4 SOLDE ANNUEL DU PROJET EN NÉGLIGEANT L'IMPACT SUR LES DÉPLACEMENTS AUTOMOBILES

Tableau 4.12 – Coûts et bénéfices du projet tramway

	2007	Solde annuel (M euros)
Investissement initial	- 443,34	
Coûts opérationnels		pm
Surplus de l'opérateur		+ 1,00
Surplus des usagers des transports publics :		
Gains de temps		+ 2,69
Gains de confort		+ 2,69
Surplus des automobilistes :		
Baisse vitesse Maréchaux		pm
Ralentissement aux croisements		- 1,83
Externalités :		
Congestion Périphérique		pm
Décongestion du métro		+ 3,80
Sur-émissions de CO2		+ 0,13
Totaux	- 444,34	+ 8,48

Source : Calculs des auteurs et données de l'Enquête Publique

Conclusion Générale

Plutôt que de redétailler les conclusions propres à chaque chapitre, nous répondons maintenant aux grandes questions qui ont motivé ce travail de thèse. Viennent ensuite une discussion sur les liens entre congestion, dynamiques récentes dans la zone centrale parisienne et politique municipale des transports, ainsi qu'une brève présentation des travaux en cours.

5.1 RÉPONSES AUX QUESTIONS AYANT MOTIVÉ CE TRAVAIL DE THÈSE

5.1.1 QUEL EST LE COÛT DE LA CONGESTION ROUTIÈRE DANS UN CADRE D'ANALYSE "STATIQUE" ?

Nous avons vu que le coût imputable à l'externalité de congestion routière variait considérablement au sein de l'analyse "statique", selon le référentiel choisi. Aux approches "naïve" (basée sur une "route vide") et "internalisante" (basée sur la taxe optimale), nous avons opposé une vision "économique" (Prud'homme and Sun [2000], Small and Verhoef [2007]). Selon celle-ci, les pertes de bien-être liées à la "tyrannie d'autrui" sur les routes correspondent à la variation du surplus des voyageurs

par rapport au niveau optimal, i.e. niveau d'utilisation des routes tel que les automobilistes "internalisent" le coût externe de leurs décisions. Pour une infrastructure comme le boulevard Périphérique, le coût de l'inefficience s'élevait à 130-160 M euros en 2007. L'extrapolation de ces résultats à l'ensemble de la France suggère que les pertes de bien-être liées à l'externalité de congestion routière atteignent 0,05% du PIB national. Avec les approches "naïve" et "internalisante", ce ratio augmenterait à 0,12% et 0,13% respectivement, soit environ 2,5 fois supérieur. Une fois monétarisées, les différences de définitions du phénomène sont donc considérables.

Cette mesure de 0,05% constitue une estimation basse des pertes de bien-être¹. Elle cache par ailleurs une importante hétérogénéité. Ainsi, les pertes de bien-être varient considérablement selon l'échelle temporelle : ce sont essentiellement durant les heures de pointe que se concentrent les pertes de temps (70% dans le cas du boulevard Périphérique), pour une part relativement modeste de l'utilisation totale des routes (30% des kilomètres parcourus). Mais également selon l'échelle spatiale : l'Ile-de-France apparaît comme un territoire fortement marqué par l'externalité de congestion. Les pertes de bien-être y représentent une fraction bien plus importante du PIB régional (0,14%), et encore davantage (0,18%) si on regarde le revenu régional, indicateur plus à même de décrire le coût d'opportunité pour les ménages franciliens.

5.1.2 L'EXTERNALITÉ DE CONGESTION EST-ELLE COÛTEUSE DANS LES MÉTROS ?

Souvent occultée des travaux empiriques abordant la répartition modale optimale (Parry and Small [2009]), l'externalité de congestion dans les métros génère néanmoins une importante désutilité. Et ce avant même qu'une fréquentation trop forte du réseau ne le transforme en un "goulot d'étranglement" et implique des pertes de temps objectif (Kraus and Yoshida [2002]). Les usagers de la ligne 1 du métro parisien

1. Car oubliant les coûts issus d'une allocation inefficace de la voirie dans les centre-villes ainsi que ceux liés aux ajustements des conducteurs franchissant un "goulot d'étranglement" (de Palma and Fosgerau [2010]). Il se peut également que la valeur du temps retenue soit faible.

ont ainsi déclaré être disposés à augmenter (en moyenne) de 30% la durée de leurs déplacements afin de jouir du niveau de confort des heures creuses durant les heures de pointe, i.e. une baisse moyenne de la densité de voyageurs dans les trains de 85% environ. Ainsi approximée, la perte de bien-être issue la congestion dans les métros est loin d'être négligeable.

Obtenu pour le cas parisien, ce résultat constitue une borne inférieure des estimations trouvées pour les réseaux ferrés anglais ou australiens (Li and Hensher [2011], Wardman and Whelan [2011]). Son équivalent monétaire reste toutefois deux fois supérieur au coût financier directement supporté par les utilisateurs du métro parisien. Il est par ailleurs intéressant de constater qu'il ne diverge pas fondamentalement de la valeur tutélaire de 50% (discrétionnairement) proposée par le Commissariat Général du Plan [2001] ou des résultats trouvés sur le réseau régional francilien (Debrincat et al. [2006]). S'il n'estime pas le coût "économique" de la congestion dans les métros tel qu'opéré pour les routes, le troisième chapitre a également permis de souligner que l'effet externe lié au confort des déplacements en métro est conséquent (0,23-0,28 *euro/passager × kilomètre*). Certes inférieur au coût marginal de congestion routière, il dépasse les coûts externes des autres "maux" de la mobilité urbaine (émissions de CO₂, le bruit des véhicules automobiles ou les risques d'accidentalité, voir Quinet [2004], de Palma and Zaouali [2007], TERM [2005]).

5.1.3 COMMENT UNE VUE PARTIELLE DE L'EXTERNALITÉ DE CONGESTION MODIFIE-T-ELLE L'ÉVALUATION DES POLITIQUES PUBLIQUES ?

Avoir une vision partielle de l'externalité de congestion peut profondément modifier l'évaluation économique des politiques de transport. Les enjeux liés à la correction de cette "défaillance de marché" sont ainsi (en partie) conditionnés par l'estimation des pertes de bien-être collectif. Le second chapitre a montré que les débats en la matière pouvaient être foncièrement biaisés (Orfeuil [2008a]). On a également souligné l'impératif que représentent pour l'État une "compensation" adéquate des

voyageurs suite à l'introduction d'un péage (Giuliano [1992], Rothengatter [2003]) et une bonne distinction entre taxe optimale et coût marginal. Concernant la congestion dans les métros, le troisième chapitre a mis en évidence une incidence du "goût pour le confort" sur les prévisions de report modal. Nous avons également vu que les bénéfices externes de décongestion des métros méritaient une réelle attention dans une optique de calcul économique.

Le quatrième chapitre constitue une bonne synthèse de cette influence. Rappelons que l'analyse coûts-bénéfices ex ante prévoyait pour le tramway des Maréchaux une importante rentabilité sociale (Valeur Actualisée Nette de 420 M euros, Franc et al. [2003]). Notre étude rétrospective aboutit quant à elle à des conclusions diamétralement opposées (-950 M euros) et l'assimile à une destruction de ressources. Si des erreurs de prévisions (report modal depuis la voiture et longueur du trajet en tramway²) expliquent une partie des divergences, précisons que l'étude ex ante ne considérait pas les pertes de temps des automobilistes restant sur le boulevard des Maréchaux ou utilisant le boulevard Périphérique. Elle négligeait également le principal bénéfice du tramway : la décongestion du métro parisien durant les heures de pointe. L'objet premier de cette thèse n'est pas de comprendre le choix des hypothèses fondant les évaluations des investissements publics. Nous voyons néanmoins dans l'exemple du tramway parisien une parfaite illustration des biais induits par une vision partielle de l'externalité de congestion. Ces biais sont encore une fois conséquents. Ils changent radicalement l'évaluation économique des politiques de transport.

2. L'étude prospective estime à 6% le report modal depuis la voiture, nous obtenons 3%. Par ailleurs, les gains de temps étaient calculés (avec une valeur du temps supérieure, 13 euros par heure) sur la base de déplacements entre Porte d'Ivry et Pont-du-Garigliano (7,9 kilomètres) tandis que nous trouvons une longueur moyenne de 2,6 kilomètres.

5.1.4 QUELLE EST L'ÉVOLUTION DE LA CONGESTION DANS LES TRANSPORTS À PARIS DEPUIS LE DÉBUT DES ANNÉES 2000 ?

Enfin, les trois chapitres de cette thèse ont numériquement illustré que la congestion avait augmenté dans les transports à Paris depuis le début des années 2000. Sur le boulevard Périphérique, un peu plus d'heures ont été "consommées" en 2007 en raison d'une vitesse inférieure (-5%), et malgré un trafic en légèrement en baisse (-2%). Le coût "économique" (+6% entre 2000 et 2007) lié à l'allocation inefficace de la voirie a suivi la croissance des déplacements les plus marqués par l'externalité, i.e. réalisés à basses vitesses. A l'instar des aménagements de la voirie en faveur des bus, le retour du tramway dans Paris a fortement réduit la vitesse de circulation automobile sur le boulevard des Maréchaux (baisse estimée à 15% environ). Même s'ils sont moins nombreux en 2007 (-30%), les automobilistes s'y "gênent" plus qu'auparavant car disposant d'un espace viaire réduit pour se mouvoir. Surtout, le confort des déplacements réalisés sur les réseaux ferrés s'est dégradé durant la période d'observation (la densité moyenne de passagers dans les trains a augmenté de 8%). L'offre de métros et de trains régionaux n'ayant pu suivre le même rythme que la demande (+13% environ), un plus grand nombre de voyageurs imposent aujourd'hui leur "proximité" dans les trains à un plus grand nombre "d'autrui".

Prises conjointement, ces évolutions correspondent à un renchérissement du "coût généralisé" des déplacements intéressant la zone centrale parisienne (Prud'homme and Kopp [2008], Prud'homme et al. [2010]). Certains voyageurs ont certes gagné aux modifications intervenues depuis 2000, notamment les usagers du tramway, les cyclistes (nouveaux et anciens, voir ci-dessous) ou encore les néo-motards (Kopp [2011])³. Comme souligné dans l'Introduction Générale, ces catégories de voyageurs représentent cependant une fraction minoritaire des kilomètres parcourus dans Paris (5% au maximum). L'essentiel de la mobilité est en effet réalisé sur les réseaux routiers et ferrés. Les coûts de transport ont donc fortement augmenté pour les (très

3. On pourrait inclure les usagers du bus dont la fréquentation a baissé, avec des gains de confort donc.

nombreux) individus qui utilisaient la voiture ou le métro en 2000 et qui utilisent toujours ces modes en 2007 (environ 80% des kilomètres parcourus). S'il est possible qu'ils aient permis de "révéler" à certains voyageurs des gains de bien-être, nous pensons que les reports modaux de la voiture (éventuellement le métro) vers le métro (la voiture) correspondent également à un "coût généralisé" en hausse⁴.

Concernant le coût social de la mobilité parisienne, on ne peut pas donner de résultats fiables sans une étude plus approfondie de la circulation automobile. Bien que moins d'heures semblent avoir été "consommées" sur la voirie parisienne⁵, la structure des coûts (privé et externe) de ce mode a dû changer avec la nouvelle offre de route et la nouvelle règle de tarification. Les progrès des moteurs des véhicules (Union Routière Française [2007], de Pars and Léger [2009]) impliquent également des coûts environnementaux différents entre les deux dates. Conjugué au renchérissement global de la mobilité individuelle discuté ci-dessus, le gap entre le coût externe environnemental (en baisse) et celui lié à l'encombrement des métros (en hausse) laisse toutefois penser que le coût social de la mobilité parisienne est au moins égal en 2007 à celui de 2000. Cette intuition est renforcée par l'importance des subventions liées au fonctionnement des transports publics (Orfeuil [2008a]) ou encore la plus forte accidentalité des déplacements en deux-roues (vélo ou moto, voir Kopp [2011] et Papon [2002]).

4. D'après la "condition d'indifférence", le "coût généralisé" du métro en 2000 est supérieur à celui de l'automobile pour un automobiliste. Si ce voyageur est dans le métro en 2007, son utilité a dû se dégrader car le "coût généralisé" du métro a lui-même augmenté. Ceci n'est pas forcément vrai si un problème informationnel biaisait le choix modal en 2000 : un automobiliste pourrait ainsi "découvrir" que prendre le métro aurait pu lui faire gagner du temps bien avant ce report modal "forcé". Cet effet, lié à la perception du temps de transport (Li [2003], Van Exel and Rietveld [2010]), pourrait avoir fortement joué pour les nouveaux utilisateurs de deux-roues motorisées dans Paris.

5. On obtient ce résultat en divisant le nombre de kilomètres parcourus dans Paris en 2000 et 2007 avec les vitesses moyennes correspondantes (voir l'Introduction Générale). En écartant le boulevard Périphérique, et en reprenant les chiffres présentés dans l'Introduction Générale, on trouve 404 M heures en 2000 et 325 M heures en 2007.

5.2 DISCUSSION

La hausse de la congestion dans les transports à Paris et le renchérissement de la mobilité apparaissent comme déplorables pour la vitalité de la zone centrale. Correspondant à une baisse de l'utilité individuelle, ces tendances semblent donc conforter les craintes présentées dans l'Introduction Générale sur la "panne" de développement de Paris (Davezies [2008a]). Une telle conclusion cache cependant un "effet de composition". S'il ne remet pas fondamentalement en cause le regard négatif porté sur la hausse de la congestion, il convient toutefois de le discuter maintenant.

5.2.1 ÉVOLUTION DE LA POPULATION ET DES EMPLOIS DANS PARIS DEPUIS 2000

L'évolution des coûts de transport est intimement liée aux choix de localisation des agents au sein d'une agglomération (Fujita [1989], Quinet and Vickerman [2004], Glaeser [2008]). Jusque là, nous avons omis de commenter l'évolution récente des ces derniers dans la zone centrale parisienne. Les données du Recensement Général de 2008 ont constitué à cet égard une réelle surprise pour les observateurs. Elles soulignent en effet que la hausse de la congestion est allée de pair avec un apparent regain d'attractivité de la zone centrale. La municipalité de Paris a ainsi vu l'"hémorragie" se stopper et a gagné 90000 habitants entre 1999 et 2008 (+4%, données Insee). Les emplois participent également à ce "retour vers le centre" puisque leur nombre augmente de 8% sur la période (données Insee). Dans ces conditions, la hausse de la congestion dans les transports pourrait paraître quelque peu mécanique. Si la stabilité de la mobilité globale observée dans le tableau (1.6) nous place face à un paradoxe⁶, le "réveil" de Paris impliquerait logiquement des nouveaux be-

6. Cette stabilité du nombre de kilomètres intéressant Paris pourrait s'expliquer par deux facteurs. Les individus pourraient tout d'abord faire des déplacements de plus courtes distances en 2007, i.e. moins de kilomètres. Par ailleurs, il se pourrait que chaque personne se déplace un peu moins aujourd'hui. Bien que les sources statistiques diffèrent et appellent à la prudence, cette dernière observation semble vérifiée. D'après les données de l'Enquête Globale Transport (2002), les Parisiens se déplaçaient 3,6 fois par jour, 3,48 pour les habitants de la Petite Couronne. Pour 2008, les données de l'Enquête Nationale Transport indiquent que le nombre de déplacements moyen est passé à respecti-

soins de mobilité, ceux-ci participant à saturer davantage les réseaux.

On ne saurait discerner ici le rôle joué par l'externalité de congestion dans le renouveau de la "demande pour la centralité"⁷. Nous pouvons toutefois faire remarquer que la croissance de la population parisienne a été accompagnée en début de période par une croissance du revenu imposable plus forte dans la capitale que dans le reste de l'agglomération (+9,7% entre 1999 et 2003, contre +5,6% et +7,8% pour respectivement les Petite et Grande Couronnes, Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]). Cette observation est donc compatible avec l'arrivée dans Paris d'individus cherchant d'autant plus à "économiser" leurs temps de déplacements que le coût d'opportunité de celui-ci est important⁸. Selon le même schéma, la hausse des coûts de transport intéressant Paris s'y est suivie d'une "flambée des prix" immobiliers un peu plus prononcée que dans le reste de l'Ile-de-France ou du pays⁹. Si la capitale a vu légèrement baisser entre 2000 et 2004 sa part dans l'offre régionale de nouveaux logements (Beaucire [2007]), la corrélation positive entre coûts pour se déplacer dans Paris et prix pour y habiter est conforme à la prédiction théorique de "tyrannie du sol" (Fujita [1989], Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]).

Cette dernière observation force donc à nuancer la "bonne nouvelle" que constitue le retour de la population et des emplois dans Paris. La hausse des prix de l'immobilier y rend en effet plus difficile l'accession à la propriété. Elle profite essentiellement aux ménages qui sont dans "leurs" murs, minoritaires (33% de propriétaires dans Paris en 2008 et 61% de locataires, données Insee), et pourrait se répercuter sur le marché locatif. Malgré la hausse du revenu imposable des Parisiens, il existe par ailleurs d'importantes disparités des conditions de vie au sein de la capitale (Pinçon

vement 3,4 et 3,3 par jour (Caenen et al. [2010]). Ceci correspond à une baisse de -3% et -5%.

7. Nous sommes en effet face à un problème de "causalité inverse" : comme il est plus difficile d'accéder au centre, les individus essaient de s'en approcher, ce qui sature en retour les infrastructures. Seule une réelle étude sur les motivations des "néo-parisiens" pourrait juger le rôle joué par la congestion dans ces nouveaux choix de localisation.

8. Il se pourrait également que la croissance du revenu dans Paris attire des individus, autre "causalité inverse".

9. L'indice moyen (appartement et maisons) des prix de ventes (issu de la base notariale) est ainsi de 214 pour Paris en 2007, contre 206 pour l'Ile-de-France et 207 en France (base 100 en 2000).

and Pinçon-Charlot [2008]). Le nombre de bénéficiaires des minima sociaux avait par exemple augmenté depuis le début des années 2000 plus vite dans la capitale (Davezies [2008a]). Conjugué à une hausse des coûts de transport, le renchérissement des prix de l'immobilier pourrait donc intensifier les "forces centrifuges" et détériorer, à terme, l'utilité associée à une localisation centrale. Notons à ce propos qu'on ne peut parler d'une réelle "re-polarisation" territoriale. Les taux de croissance de la population et des emplois enregistrés entre 1999 et 2008 pour Paris restent inférieurs à ceux des Petite et Grande Couronnes (respectivement +7% et +6% pour la population, +13% et +12% pour l'emploi, données Insee).

L'"étalement" de l'Ile-de-France semble donc s'être prolongé depuis le début des années 2000, avec les problèmes liés au "développement durable" que suppose cette tendance. A ces défis (déjà présents en 2000) s'ajoutent ceux concernant la compétitivité et l'attractivité régionale (également présents en 2000). La croissance de la population et des emplois en Ile-de-France reste en effet inférieure à celles enregistrées au niveau national (respectivement +4% et +11% pour l'Ile-de-France entre 1999 et 2008, +6% et +13% en France, données Insee). Entre 1999 et 2003, le revenu imposable des habitants des Couronnes augmentait par ailleurs moins vite que celui de leurs homologues "banlieusards" dans le reste de la France (Huriot and Bourdeau-Lepage [2009])¹⁰. Surtout, la productivité des franciliens augmente désormais au même rythme que celle des autres français (+25% entre 2000 et 2007, données Eurostat), suggérant un épuisement des gains liés à l'agglomération des activités économiques (Davezies [2007]). Cette conclusion est compatible avec les arguments introductifs reliant "taille effective du marché du travail", congestion des infrastructures de transport dans la zone centrale et "sur-productivité" urbaine (Prud'homme and Lee [1999], Cervero [2001]).

10. Les habitants de la "Banlieue" de l'aire urbaine de Paris ont vu leur revenu imposable augmenter de 5,6%, ceux de la "Couronne Péri-urbaine" de 7,8%. Dans le reste de la France (hors Paris), ces taux de croissance sont respectivement de 7,8% et 9,7%. Toujours dans les autres aires urbaines françaises, on observe que c'est dans le "Centre" que le revenu imposable augmente le moins vite (+5,8%), contrairement à Paris (Huriot and Bourdeau-Lepage [2009]).

5.2.2 LE SIGNAL ENVOYÉ PAR LA POLITIQUE MUNICIPALE DES TRANSPORTS

Le jugement négatif sur la hausse de la congestion dans les transports va dans le sens d'une profonde remise en cause de l'action municipale engagée depuis 2001. Bien que des forces pré-existaient, il est en effet incontestable que la politique de "régulation par les quantités" a joué un rôle décisif dans la dégradation générale des conditions de transport. Le choix de réduire les vitesses de circulation automobile dans Paris entre en totale contradiction avec les fortes valorisations faites des temps de déplacement. A l'instar du tramway des Maréchaux, toute politique qui rallonge la durée des voyages individuels sera déconsidérée par le calcul économique car impliquant des pertes de bien-être collectif.

Ce constat pourrait être nuancé en considérant les préférences individuelles et collectives comme marquées par une forte incertitude (Crozet [2004]). Le cas échéant, l'incertitude porterait sur la contradiction entre "désir de vitesse" et "qualité de vie urbaine". Mode de transport le plus rapide, la voiture est aussi celui dont les incivilités (sonores, environnementales, visuelles) sont les plus nuisibles pour les riverains (Perbet [2004]). Le poids respectif des préférences individuelles serait mal pris en compte par les valeurs tutélaires utilisées lors des calculs économiques (Commissariat Général du Plan [2001], Ministère de l'Équipement [2005]), celles-ci donnant (avec certitude) la primauté au temps par rapport aux dimensions environnementales. Dans un tel cadre théorique, il serait alors possible d'interpréter la politique municipale des transports comme un signal envoyé aux utilisateurs de la ville. Les confrontant à l'incompatibilité de leurs désirs, il les forcerait à réviser leurs choix (Crozet [2004], Crozet [2007]). Le "retour vers le centre" commenté auparavant trouve peut-être une part de son origine dans les réponses individuelles au signal envoyé par la politique municipale des transports.

Il est tentant de détailler un peu plus ce signal. En réduisant les vitesses automobiles et en privilégiant les circulations "douces", l'action "anti-voiture" semble chercher à

appaiser le "rythme" de la ville, à y favoriser les interactions de proximité et, peut-être, à transformer Paris en un "village urbain"¹¹. Les travaux d'aménagements de la voirie (que ce soit pour la mise en "site propre" des bus, du tramway ou des "Vélib") ont été bien souvent accompagnés d'opérations de "requalification urbaine" intégrant aux rues de la capitale des espaces verts et des oeuvres d'art. Toutes ces aménités peuvent donc être vues comme faisant partie intégrante du signal envoyé par la politique municipale des transports. Elles seraient "désirées" par les individus et mériteraient à ce titre d'être considérées par l'évaluation économique, à côté du "coût généralisé" des déplacements.

5.2.3 COMMENT LES PARISIENS ONT-ILS RÉAGI AU SIGNAL ?

Étudiant les préférences des ménages "révélées" par leurs achats immobiliers, la méthode des "prix hédoniques" permet de valoriser les différents attributs des logements (Cavailhès [2005]). Elle a été utilisée dans le cas parisien pour évaluer l'influence de la carte scolaire (Fack and Grenet [2010]) ou bien la rénovation de quartiers sensibles (la "Goutte d'Or" par exemple, Barthélémy, Michelangeli, and Trannoy [2010])). Deux études récentes abordent certains des changements induits par la politique municipale des transports et négligés dans cette thèse. Elles aboutissent à des conclusions mitigées.

Bureau and Glachant [2010] s'intéressent à la politique des "quartiers verts" et des "quartiers tranquilles" consistant à limiter drastiquement l'accès de ces zones au trafic automobile (vitesse limitée à 30 km/h, stationnement de transit rendu plus difficile) et à redistribuer la voirie aux mobilités "douces" (marche à pieds et vélos). Ils observent que les aménagements accompagnant la création de ces quartiers ont engendré une légère hausse des prix immobiliers par rapport à la moyenne parisienne (+3% pour les "quartiers verts" et +1,5% pour les "quartiers tranquilles"). Traduisant

11. Nous avons noté dans le quatrième chapitre que les véhicules en moins sur le boulevard des Maréchaux se "remarquaient" davantage que ceux en plus sur le boulevard Périphérique. Nous pourrions dire qu'il en est de même des personnes "disparues" sous terre, i.e. dans le métro.

bien une demande pour les aménités visées par la politique des transports (moins de bruit, moins de pollutions, moins de vitesse, plus de verdure), l'effet reste toutefois modeste. Surtout, le différentiel de prix semble essentiellement influencé par l'ampleur des investissements publics consentis.

Dans le cas du tramway des Maréchaux, il est notable que l'effet du nouvel environnement urbain sur les prix de l'immobilier n'est pas statistiquement différent de zéro. Boucq, NGuyen-Luong, and Papon [2011] observent ainsi que la mise en service du tramway n'a été suivie d'aucune capitalisation immobilière. Cette conclusion est opposée à celles usuellement obtenues pour ce genre d'infrastructure (Fritsch [2007], Bowes and Ihlanfeldt [2001], Gatzlaff and Smith [1993]). Sans pour autant remettre en cause l'"embellissement" des boulevards des Maréchaux, elle suggère donc que les aménités "désirées" aujourd'hui par les Parisiens ne sont pas nécessairement celles que tente de promouvoir la politique municipale des transports¹². En dépit de l'important investissement public, le résultat du tramway pourrait surtout s'expliquer par les très faibles gains d'accessibilité que génère l'infrastructure¹³. Ainsi interprétées, les "préférences révélées" des Parisiens pencheraient donc davantage pour le "désir de vitesse". La hausse de la congestion induite par la politique municipale des transports reste alors une conclusion négative.

Une autre manière d'analyser les réponses individuelles au signal envoyé par la politique municipale des transports consiste à regarder l'évolution (entre 2001 et 2008) du choix modal des Parisiens. Bien que les sources statistiques disponibles diffèrent (Couderc [2007], Caenen et al. [2010]¹⁴), trois tendances se dégagent de cet exercice. Elles vont logiquement dans le même sens que nos observations précédentes. Utili-

12. Les demandes d'aménités s'orienteraient vers le capital humain ou social (des voisins et des écoles), la vie culturelle plus intense. La dimension "production" ne doit toutefois pas être négligée dans les choix de localisation. Ainsi, Paris peut être une localisation indispensable pour exercer certains métiers (notamment ceux liés aux activités "créatives"), seul et encore plus lorsque les deux personnes du couple exercent ce type de profession.

13. Si les nouveaux résidents utilisent leurs voitures, la zone est même devenue moins accessible.

14. Pour 2001, nous reprenons les données de la Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France [2002]. La prochaine version de l'Enquête Globale sera disponible courant 2012. Pour 2008, nous utilisons les données de l'Enquête Nationale Transport qui comprend un panel de Parisiens (Caenen et al. [2010]).

sant déjà peu leurs voitures en 2001 (18% des déplacements), les Parisiens ont encore réduit leur usage de ce mode de transport : 12% en 2008. Inversement, les transports en commun voient leur importance légèrement croître sur la période (32% des déplacements en 2001, 34% en 2008). Ce sont surtout les deux-roues (motorisés ou non) qui ont été les plus sollicités. Alors qu'ils représentaient moins de 3% des déplacements des Parisiens en 2001, leur part atteint environ 7% en 2008 (dont 4,1% pour les motos et 2,7% pour les vélos). La marche à pieds reste quant à elle à peu près stable (47% des déplacements).

Ces observations permettent de discuter l'apparent succès rencontré par la politique municipale des transports. Nous avons souligné dans l'Introduction Générale que Bertrand Delanoë avait été reconduit dans ses fonctions en 2008 avec une large majorité, suggérant un jugement favorable sur son action de la part des Parisiens. Concernant le domaine des transports, l'avis était toutefois bien plus partagé. Un sondage¹⁵ réalisé fin 2006 montrait ainsi que les opinions étaient particulièrement polarisées concernant la politique de régulation de la circulation automobile¹⁶. Avant les élections municipales de 2008, la circulation et le stationnement étaient toujours une grande source d'inquiétude pour les habitants. Ce thème arrivait certes après ceux du logement ou du développement économique. Il semblait néanmoins prioritaires aux yeux des Parisiens par rapport à la propreté de la ville, la sécurité, la fiscalité locale ou l'"animation de la ville"¹⁷.

En regardant l'évolution des changements modaux entre 2001 et 2008, on pourrait ainsi voir apparaître une tension entre le "moi" Parisien se déplaçant souvent à pieds ou pratiquant davantage le vélo - dans une ville plus propice qu'auparavant aux mobilités "douces" - et le "moi" utilisant les métros ou la voiture (et "consommant" donc

15. Ifop (pour le Journal du Dimanche), "Les Parisiens, la politique municipale de circulation et le souhait de victoires pour les prochaines élections municipales", octobre 2006. Disponible en ligne.

16. D'après ce sondage, 53% des individus approuvaient la politique municipale de régulation de la circulation, les 47% y étant opposés. Les automobilistes désapprouvaient cette politique à 68%, ceux qui ne conduisaient pas dans Paris à 42%.

17. Sondage Ifop et Fiducial (pour Paris Match), "Le climat politique à Paris", janvier 2008. Disponible en ligne.

une grande part de son temps dans des modes ayant vu les conditions de voyage se dégrader). Autrement dit, le signal envoyé par la politique municipale des transports aurait eu des effets ambivalents. Bien que la (plus large) majorité dont disposait Bertrand Delanoë en 2008 (Pinçon and Pinçon-Charlot [2008]) limite la portée de nos propos, on pourrait interpréter le changement de coloration politique de l'adjoint municipal aux transports comme une tentative pour apaiser les craintes de Parisiens devant faire face à des conditions transport de plus en plus pénibles¹⁸.

Pour clore cette discussion, soulignons que la hausse de la congestion dans la zone centrale parisienne tend à accroître les inégalités socio-territoriales déjà fortement marquées en Ile-de-France au début des années 2000 (Wenglenski [2007], Gobillon and Selod [2007]). S'ils représentaient 89% des déplacements motorisés dans Paris en 2001 (Courel et al. [2005]), les Parisiens comptaient en effet pour moins de 25% de ceux reliant la capitale aux Petite et Grande Couronnes. Dans la mesure où seuls les deux-roues motorisés peuvent servir de réel substitut aux trains régionaux ou aux voitures sur ce type de liaison, on comprend que les habitants des Couronnes ont certainement été les plus touchés par la hausse de la congestion. Sachant que le volume des déplacements entre Paris et sa banlieue dépassait de 38% celui des voyages réalisés dans la "ville lumière" en 2001 (Courel et al. [2005]), les tendances observées dans cette thèse sont condamnables au niveau régional, et pas uniquement au niveau de la zone centrale. La place qu'occupaient les transports dans les élections régionales de 2010 atteste de ces préoccupations.

Cette conclusion semble finalement constituer un bon exemple de la solidarité et de la cohérence dont doivent faire preuve les politiques locales en Ile-de-France (Offner [2007], Gilli and Offner [2009]). Cette solidarité pourrait être d'autant plus facile à forger qu'un nombre croissant de Parisiens prennent quotidiennement les trains régionaux ou leurs voitures pour aller travailler dans les Couronnes de l'agglomération. En sus de décongestionner les réseaux de métros ou de trains régionaux, la ligne du "Grand Paris" pourrait permettre de faire correspondre les besoins de la ville centre

18. Les Verts ont cédé le poste à une représentante du Parti Socialiste.

et de sa banlieue. Étant donné le délais éloigné de sa livraison (horizon 2020), il faut toutefois s'attendre à ce que la congestion s'aggrave encore dans la zone centrale parisienne, avec les pertes de bien-être individuel et collectif que génère cette externalité.

5.3 TRAVAUX EN COURS

Ce travail de thèse nous incite à vouloir mieux apprécier certains thèmes en liens avec les transports parisiens : Dans quelle mesure l'évolution des coûts de transport a-t-elle participé à modifier les choix de localisation des ménages et des entreprises au sein de l'agglomération parisienne ? Comment la structure du financement des infrastructures modifie-t-elle les choix publics en la matière ? Quelles améliorations apporter au réseau de bus parisiens afin d'accroître son attractivité ? Quelles contraintes la subventions des transports en commun fait-elle peser sur les finances publiques ? Quel ont été les impacts de la politique municipale de stationnement ? Le temps étant la "ressource la plus rare" (Crozet and Joly [2004]), son allocation future sera toutefois destinée à terminer les travaux de recherche en cours. Ces trois travaux prolongent, plus ou moins directement, la présente étude de la congestion dans les transports à Paris.

5.3.1 NOUVELLE ÉTUDE SUR LA VALORISATION DU CONFORT DANS LE MÉTRO

Afin de remédier aux faiblesses du troisième chapitre, nous avons mené une nouvelle évaluation contingente du confort des déplacements entre novembre 2010 et janvier 2011¹⁹. Ainsi, nous nous sommes rendus sur les quais des ligne 1 et 4 du métro parisien pour interroger plus de 1000 voyageurs, durant les heures de pointe du matin et du soir.

19. Projet en collaboration avec Luke Haywood et Rémy Prud'homme.

Par rapport à la première étude, nous disposons d'une bien meilleure description du confort dans les trains. Nous avons en effet utilisé un support visuel avec 7 niveaux de fréquentation. Les voyageurs y indiquaient leur "point de référence" durant les heures de pointe. L'amélioration hypothétique de confort proposée aux usagers était quant à elle déterminée de manière aléatoire. Une procédure aléatoire fut également utilisée pour les enchères temporelles, autorisant ainsi le traitement des "biais de première enchère" (Flachaire and Hollard [2007]). Connaissant la station de descente des individus, nous sommes capables de reconstituer fidèlement le "vécu" de leurs voyages (temps objectif, densité moyenne, densité maximum) à l'aide de données fournies par la RATP. Finalement, un cinquième du panel était consacré à l'étude du "consentement à recevoir", i.e. un déplacement plus rapide mais moins confortable.

Les estimations préliminaires²⁰ indiquent que le "sur-déplacement" consenti par les voyageurs, tel que calculé dans le quatrième chapitre, oscille en moyenne entre 45% et 50%. Cette valorisation du confort semble constante entre 1 voy/m² et 2,5 voy/m², puis augmente linéairement jusqu'à 6 voyageurs/m². Ces premières estimations indiquent par ailleurs la présence de "biais de première enchère" mais également une (nouvelle) absence d'hétérogénéité individuelle dans les facteurs influençant les réponses à l'"arbitrage entre temps de déplacement et espace". Ces estimations doivent être prochainement reconduites afin de mieux intégrer le riche support empirique à notre disposition. L'enquête de terrain a en effet rencontré un réel succès. Environ 25% des individus laissaient passer un métro et complétaient une version longue du questionnaire (plus de 20 questions). Pour 10% d'entre eux, l'enquête s'est même prolongée sur internet (plus de 40 questions). Ces multiples informations doivent permettre de proposer prochainement une estimation plus fine de la valeur du confort des déplacements dans le métro parisien.

20. Nous n'avons par encore opéré aux calculs du taux d'échange marginaux entre temps de déplacement confortable et inconfortable comme dans Whelan and Crockett [2009] ou Douglas and Karpouzis [2006].

5.3.2 ANALYSE COÛTS-BÉNÉFICES DU REPORT MODAL VERS LE VÉLO À PARIS

Bien qu'il représente une part infime des kilomètres parcourus dans Paris (1,3% en 2007, voir l'Introduction Générale), le vélo constitue vraisemblablement un levier d'action efficace pour diminuer le coût social des transports (CCTN [2009], Papon [2002], Orfeuil [2008b]). S'il peut rarement se substituer aux déplacements automobiles, le vélo présente des avantages certains par rapport au métro dans la zone centrale parisienne, à commencer par la relative faiblesse des investissements qu'il nécessite. La croissance continue de la fréquentation du "Vélib" démontre bien une "préférence révélée pour le vélo", à l'instar de l'évolution du choix modal des Parisiens commentée auparavant.

Afin d'estimer les coûts et les bénéfices liés à l'utilisation du vélo dans Paris, une enquête de terrain a été menée durant le mois de novembre 2010²¹. Plus de 160 cyclistes (dont 50% d'utilisateurs de vélo privé) ont ainsi été interrogés dans cinq zones de la capitale. Le questionnaire comportait 25 questions sur les caractéristiques du déplacement (motif, temps, autre mode utilisé), la pratique présente et passée du vélo, les facteurs ayant poussé les individus à changer de mode de transport (lorsque tel était le cas), les gênes liées à l'utilisation des vélos dans Paris. Bien que nous n'ayons pas encore l'intégralité des données financières sur les investissements physiques, nous avons également collecté des informations sur les différentes composantes du "coût généralisé" de chaque mode (argent, taxes, alimentation).

Le premier traitement des données montre que 30% des utilisateurs des vélos privés n'étaient pas familiers de ce mode de transport en 2007, plus de 70% concernant les "consommateurs" du "Vélib". Le déplacement moyen est par ailleurs de 3,5 kilomètres, soit une durée moyenne de 23 minutes. Environ 50% environ des nouveaux cyclistes proviennent du métro, le bus et la marche à pieds constituant les deux autres principales origines modales (respectivement 18% et 10%). Avec la santé et les gains

21. Projet en collaboration avec Pierre Kopp et Jérémy Boccanfuso.

de temps, la pénibilité des transports en commun est le facteur le plus souvent cité pour justifier le changement modal. Les premiers gains de bien-être calculés pour les cyclistes ou la collectivité (via les externalités disparues) augurent un bilan socio-économique favorable pour ce pan de la politique parisienne des transports.

5.3.3 QUELS FACTEURS INFLUENCENT L'OPINION À L'ÉGARD DES TRAMWAYS ?

L'analyse coûts-bénéfices du tramway des Maréchaux et l'étude des "prix hédoniques" de Boucq et al. [2011] remettent en cause la pertinence socio-économique de ce mode de transport dans Paris. Le tramway jouit toutefois d'un réel attrait aux yeux de l'opinion publique. Pour les aménageurs et les décideurs publics, l'arrivée d'un tramway dans un centre-ville autorise également une réelle "requalification" de l'espace urbain.

Afin d'analyser les canaux guidant l'opinion individuelle à l'égard des tramways, nous changeons d'aire géographique d'étude²². Nous nous tournons vers la ville d'Angers où une ligne de tramway a été inaugurée en juin 2011. Nous disposons en effet d'une base de données décrivant le jugement de 250 habitants de l'agglomération angevine sur la nouvelle infrastructure. Ces opinions sont ex ante. Elles découlent d'une enquête de terrain menée dans le centre-ville d'Angers durant les mois d'avril et de mai 2011. Le questionnaire a pour but d'expliquer l'opinion individuelle à l'égard du tramway par les évolutions perçues des conditions de transport, de l'"atmosphère urbaine" ou des prix de l'immobilier. Une étude qualitative des différentes dimensions composant les vecteurs "transport" (temps, argent, confort, information...) et "aménités urbaines" (architecture, bruit, verdure...) est prévue. Nous menons également une évaluation contingente du "consentement à payer pour le tramway" via des enchères (aléatoires, avec le traitement des "biais de première enchère") exprimées en augmentation du prix des titres de transport.

22. Projet avec l'aide initiale d'Edouard Bellané.

Bien que nous ayons peu avancé dans le traitement des données, quelques premières conclusions émergent. Avant même son lancement, le tramway d'Angers recevait un jugement très favorable de la part des habitants de l'agglomération (80% d'opinions positives, 15% des personnes indifférentes, 5% désapprouvaient). Les améliorations attendues portaient plus sur les aménités urbaines (82% des personnes interrogées prévoyaient une amélioration) que sur les conditions de transport (66% des individus). Cette dernière observation pourrait s'expliquer par le fait que seuls 45% des individus envisageaient d'utiliser le tramway régulièrement. Par ailleurs, la plus ou moins grande "distance" des habitants vis-à-vis de l'infrastructure (résidence, prévision de fréquentation) nivelle l'opinion à son égard. Les premières estimations du "consentement à payer pour le tramway" aboutissent quant à elles à une majoration des titres de transport de 9%, soit 11 centimes d'euro par déplacement. Confronté aux données financières du projet, ce dernier résultat devrait autoriser une évaluation économique originale du tramway angevin.

References

- A. Anas, R. Arnott, and K. Small. Urban spatial structure. *Journal of Economic Literature*, 36 :1426–1464, 1998.
- H. Armelius and L. Hultkrantz. The politico-economic link between public transport and road-pricing : An ex-ante study of the stockholm road-pricing trial. *Transport Policy*, 13 :162–172, 2006.
- R. Arnott and A. Yan. The two-mode problem : Second-best pricing and capacity. *Review of Urban and Regional Development Studies*, 12 :170–199, 2000.
- R. Arnott, A. De Palma, and R. Lindsey. The economics of bottleneck. *Journal of Urban Economics*, 27 :111–130, 1990.
- L. Athias and S. Saussier. Un partenariat rigide ou flexible? théorie et application aux concessions routières à péage. *Revue Economique*, (58) :565–576, 2007.
- P. Bairoch. *De Jérusalem à Mexico : villes et économies dans l'histoire*. Gallimard, Paris, 1985.
- F. Barthélémy, A. Michelangeli, and A. Trannoy. La rénovation de la goutte d'or est-elle un succès? un diagnostic à l'aide d'indices de prix immobilier. *Economie et prévision*, (180-181) :107–126, 2010.

- F. Beaucire. Ile-de-france : les nouveaux défis de l'aménagement régional. *Pouvoirs Locaux*, 73(2) :53–56, 2007.
- G. Becker. A theory of the allocation of time. *The Economic Journal*, 75(299) : 493–517, 1965.
- D. Bocquet. Gouvernance territoriale et enjeux du grand paris : la métropole capitale entre inerties et réformes. In S. Bastian and F. Trouilloud, editors, *Frankreich und Frankophonie*. Meidenbauer : Munich, 2009.
- A. Bonnafous. Les infrastructures de transport et la logique financière du partenariat public-privé : quelques paradoxes. *Revue Française d'Economie*, 17(1) : 173–194, 2002.
- A. Bonnafous. Le choix entre voiture et transport collectif. In J.F. Thisse, F. Maurel, A. Perrot, J.C. Prager, and J.P. Puig, editors, *Villes et économie*, pages 185–206. Institut des villes, Collection Villes et Société, La documentation française, 2004.
- E. Boucq, D. NGuyen-Luong, and F. Papon. Evaluation de l'impact du t3 sur les prix de l'immobilier résidentiel. Technical report, Rapport préparé pour le PREDIT, 2011.
- D. Bouf and D.A. Hensher. The dark side of making transit irresistible : The example of france. *Transport Policy*, 14(6) :523–532, 2007.
- G. Boudadon. *La mobilité en zone urbaine : apprendre l'économie des transports*. OCDE, Paris, 1991.
- D.R. Bowes and K.R. Ihlanfeldt. Identifying the impacts of rail-transit stations on residential property values. *Journal of Urban Economics*, 50(1) :1–25, 2001.
- D.S. Brookshire, M.A. Thayer, W.D. Schulze, and R.C. d'Arge. Valuing public goods : A comparison of survey and hedonic approaches. *American Economic Review*, 72 :165–177, 1982.
- J. Brueckner. Urban sprawl : Diagnosis and remedies. *International Regional Science Review*, 23(2) :160–171, 2000.

References

- J. Brueckner, J.F. Thisse, and Y. Zenou. Why is central paris rich and downtown detroit poor ? an amenity-based theory. *European Economic Review*, 43(1) :91–107, 1999.
- J.K. Brueckner and H. Selod. The political economy of transport-system choice. *Journal of Public Economics*, 90 :983–1005, 2006.
- B. Bureau and M. Glachant. Distributional effects of road pricing : Assessment of nine scenarios for paris. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 42(7) :994–1007, 2008.
- B. Bureau and M. Glachant. Evaluation de l'impact des politiques "quartiers tranquilles" et "quartiers verts" sur les prix de l'immobilier. *Economie et Prévision*, (192) :27–44, 2010.
- Y. Caenen, C. Couderc, J. Courdel, C. Paulo, and T. Simeon. Les franciliens consacrent 1h20 par jour à leurs déplacements. *Insee a la page*, (331), 2010.
- M. Cantwell, B. Caufield, and M. O'Mahony. Examining the factors that impact public transport commuting satisfaction. *Journal of Public Transportation*, 12 (2) :1–22, 2009.
- M. Carmona. *Les tramways : le cout d'une mode*. Paradigme, Orléans, 2001.
- M.D. Castelazo and T.A. Garret. Light rail : boon or boondoggle ? *The Regional Economist. Federal Reserve Bank of Saint Louis*, July :12–13, 2004.
- J. Cavailhès. L'extension des villes et la péri-urbanisation. In J.F. Thisse, F. Maurel, A. Perrot, J.C. Prager, and J.P. Puig, editors, *Villes et économie*, pages 157–184. Institut des villes, Collection Villes et Société, La documentation française, 2004.
- J. Cavailhès. Le prix des attributs du logement. *Economie et Statistique*, (381-382) :91–123, 2005.
- CCTN. *Les comptes des transports en 2008*. Commission des comptes transports de la nation, 2009.
- R. Cervero. Efficient urbanization : Economic performance and the shape of the metropolis. *Urban Studies*, 38(10) :1651–1671, 2001.

- R. Cervero and M. Hansen. Induced travel demand : Research design, empirical evidence and normative policies. *Journal of Planning Literature*, 17(3) :469–490, 2002.
- R. Cervero, C. Ferrel, and S. Murphy. *Transit-Oriented Development and Joint Development in the United States : A Literature Review*. TCRP Research Results Digest, National Research Council : Washington , D.C., 2002.
- G. Chevasson. L'influence relative des différents valeurs tutélares : une étude par la sensibilité des indicateurs socio-économiques. In J. Maurice and Y. Crozet, editors, *Le calcul économique dans le processus des choix collectif des investissements de transport*, pages 191–220. Economica, 2007.
- A. Ciccone and R.E. Hall. Productivity and the density of economic activity. *American Economic Review*, 86(1) :54–70, 1996.
- A. Clerval. Les anciennes cours réhabilitées des faubourgs : une forme de gentrification à paris. *Espaces et sociétés*, (132-133) :91–106, 2008.
- P.P. Combes and M. Lafourcade. Transport costs : measures, determinants and regional policy implications for france. *Journal of Economic Geography*, 5(3) : 319–349, 2005.
- P.P. Combes, G. Duranton, and L. Gobillon. Spatial wage disparities : Sorting matters! *Journal of Urban Economics*, 63(2) :723–742, 2004.
- P.P. Combes, T. Mayer, and J.F. Thisse. *Economie Géographique : l'intégration des régions et des nations*. Economica, 2006.
- Commissariat Général du Plan. *Transports : choix des investissements et coût des nuisances*. Commissariat Général du Plan, Groupe Présidé par M. Boiteux, L. Baumstarck rapporteur, 2001.
- Commissariat Général du Plan. *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*. Commissariat Général du Plan, Groupe Présidé par D. Lebègue, 2005.
- Commission Européenne. *Livre blanc, la politique européenne des transports*

References

- à l'horizon 2010 : l'heure des choix. Commission Européenne, Luxembourg, 2001.
- Commission Européenne. *Green book on the urban transportations*. Available on internet, 2007.
- Conseil d'Analyse Stratégique. *Pour une ville durable : les principes d'une loi sur le péage urbain*. Conseil d'Analyse Stratégique, Paris, 2008.
- C. Corbett and F. Simon. The effect of speed cameras : How drivers respond ? *Road Safety Research Report*, (11), 1999.
- N. Costes, P. Kopp, and R. Prud'homme. Politique parisienne des transports et accessibilité des emplois en ile-de-france : le coût régional d'une politique locale. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 3 :427–448, 2009.
- C. Couderc. La mobilité dans paris. *Les cahiers de l'EGT*, (9), 2007.
- J. Courel, A. Meyere, and D. Nguyen-Luong. Répartition géographique des déplacements : une nouvelle approche. *Les cahiers de l'EGT*, (3), 2005.
- T. Cox, J. Houdmont, and A. Griffiths. Rail passenger crowding, stress, health and safety in britain. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 40 (3) :244–258, 2006.
- Y. Crozet. Calcul économique et démocratie : des certitudes technocratiques au tâtonnement politique. *Cahiers d'Economie Politique*, (47) :155–172, 2004.
- Y. Crozet. Le temps et le transport des voyageurs. In CEMT-ECMT, editor, *Table ronde 127*, pages 27–69. 2005.
- Y. Crozet. Transport et mobilité durable en ile-de-france : enjeux et issues. *Pouvoirs Locaux*, 73(2) :71–76, 2007.
- Y. Crozet and I. Joly. Budget temps de transport : les sociétés tertiaires confrontées à la gestion paradoxale du "bien le plus rare". *Les cahiers scientifiques du transport*, (45) :27–48, 2004.
- D4E. Guide des bonnes pratiques pour la mise en oeuvre de la méthode d'évaluation contingente. *Série Méthode*, (5), 2004.

- D4E. Guide des bonnes pratiques pour la mise en oeuvre de la méthode des coûts de transport. *Série Méthode*, (5), 2005.
- L. Davezies. Le dessous des cartes du sdrif. *Pouvoirs Locaux*, 73(2) :61–66, 2007.
- L. Davezies. Paris s’endort... *Article publié sur le site internet de la vie des Idées*, 2008a.
- L. Davezies. *La République et ses territoires : la circulation invisible des richesses*. La République des Idées, Seuil, 2008b.
- B. De Borger and M. Fosgerau. The trade-off between money and travel time : A test of the theory of reference dependent preferences. *Journal of Urban Economics*, 64(1) :101–115, 2008.
- M. de Lapparent. Déplacements domicile-travail en ile-de-france et choix individuels du mode de transport. *L’Actualité Economique*, 81(3) :485–520, 2005.
- A. de Palma and M. Fosgerau. Dynamic and static congestion models : a review. *Cahiers de Recherche de l’Ecole Polytechnique*, (25), 2010.
- A. de Palma and R.C. Lindsey. Modelling and evaluation of road pricing in paris. *Transport Policy*, 13(2) :115–126, 2006.
- A. de Palma and N. Zaouali. Monétarisation des externalités de transport : un état de l’art. *Thema Working Paper*, 2007.
- A. de Palma, K. Motamedi, N. Picard, and P. Waddell. A model of residential location choice with endogenous housing prices and traffic for the paris region. *European Transport*, (31) :67–82, 2005a.
- A. de Palma, S. Pahaut, and E. Quinet. Pour en finir avec les encombrements. *Futuribles*, 311, 2005b.
- A. de Palma, R. Lindsey, and S. Proost. *Investment and the use of tax and toll revenues in the transport sector : the research agenda*. Elsevier Science, 2007.
- A. de Palma, M. Kilani, and S. Proost. Discomfort in mass transit and its application for scheduling and pricing. *Paper presented at the ITEA Conference*, 2011.

References

- A. de Pars and K. Léger. La qualité de l'air dans les métropoles européennes. *Les cahiers de l'IAURIF*, (150), 2009.
- L. Debrincat, J. Goldberg, H. Duchateau, E. Kroes, and M. Kouwenhoven. Valorisation de la régularité des radiales ferrées en ile-de-france. *Proceedings of the ATEC Congress, CD Rom edition*, 2006.
- J. Delons and V. Piron. Pirandello, un modèle urbain global. *Etudes foncières*, (137) :41–46, 2009.
- Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France. *Enquete Globale des Transports : les déplacements des franciliens en 2001-2002*. Rapport thématique, 2002.
- H. Dittmar and G. Ohland. *The new transit town : best practices in transit-oriented development*. Island Press, 2003.
- N. Douglas and G. Karpouzis. Estimating the passenger cost of train overcrowding. *Paper presented at the 29th Australian Transport Research Forum*, 2006.
- G. Dupuy. *La dépendance à légard de l'automobile*. PREDIT, La documentation française, Paris, 2006.
- G. Duranton and D. Puga. Microfoundations of urban agglomeration economies. *NBER Working Papers*, (9931), 2003.
- G. Duranton and M. Turner. The fundamental law of road congestion. *NBER Working Papers*, (15376), 2009.
- J. Eliasson. A cost-benefit analysis of the stockholm congestion charging system. *Transportation Research-A*, 43(4) :468–480, 2009.
- A.W. Evans. Road congestion : the diagrammatic analysis. *Journal of Political Economy*, 100(1) :211–217, 1992.
- G.W. Evans and R.E. Wener. Crowding and personal space invasion on the train : Please don't make me sit in the middle. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1) :90–94, 2007.
- G. Faburel. Evaluation du coût social du bruit des avions. application de la

- méthode d'évaluation contingente au cas d'orly. *Les cahiers scientifiques du transport*, (42) :43–74, 2002.
- G. Fack and J. Grenet. When do better schools raise housing prices? evidence from paris public and private schools. *Journal of Public Economics*, 94(1-2) : 59–77, 2010.
- E. Flachaire and G. Hollard. Starting-point bias and respondent uncertainty in dichotomous choice valuation surveys. *Resource and Energy Economics*, 29(3) : 183–194, 2007.
- M. Flonneau. *L'automobile à la conquête de Paris. Chroniques illustrées*. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2003.
- B. Flyvbjerg, M. Holm, K. Skamris, and S.L. Buhl. Cost underestimation in public works projects : Error or lie? *Journal of the American Planning Association*, 68(3) :279–295, 2002.
- . Franc, . Ferry-Wilczek, and . Huot. Enquête publiques conjointes, tms. *Enquête publique*, 2003.
- B. Fritsch. Tramway et prix des logements à nantes. *Espace Géographique*, (36) : 97–113, 2007.
- M. Fujita. *Urban Economic Theory - Land Use and City Size*. Cambridge University Press, 1989.
- D.H. Gatzlaff and M.T. Smith. The impact of the miami metrorail on the value of residences near station locations. *Land Economics*, 69 :54–66, 1993.
- F. Gilli. La région parisienne entre 1975 et 1999 : une mutation géographique et économique. *Economie et Statistiques*, (387) :3–33, 2005.
- F. Gilli. Paris : ville, capitale et métropole internationale. *Article publié sur le site internet de la vie des Idées*, 2008.
- F. Gilli. Sprawl or reagglomeration? the dynamic of employment deconcentration and industrial transformation in greater paris. *Urban Studies*, 46(7) : 1385–1420, 2009.

References

- F. Gilli and J.M. Offner. *Paris Métropole; hors les murs*. Fondation Presses Sciences Politiques, Les nouveaux débats, Paris, 2009.
- G. Giuliano. An assessment of the political acceptability of congestion pricing. *Transportation*, 19(4), 1992.
- E. Glaeser. The economic approach to cities. *NBER Working Papers*, (w13696), 2007.
- E. Glaeser and M. Kahn. Sprawl and urban growth. *NBER Working Papers*, (w9733), 2003.
- E. Glaeser and J.E. Kohlhase. Cities, regions and the decline of transport costs. *Papers in Regional Science*, 83(1) :197–228, 2004.
- E. Glaeser, J. Kolko, and A. Saiz. Consumer city. *Journal of Economic Geography*, 1(1) :27–50, 2001.
- E.L. Glaeser. *Cities, Agglomeration and Spatial Equilibrium*. Oxford University Press, 2008.
- L. Gobillon and H. Selod. Ségrégation résidentielle, accès à l'emploi et chômage : le cas de l'île-de-france. *Economie et Prévision*, (180-181) :19–38, 2007.
- J.A. Gomez-Ibanez. A dark side to loght rail ? the experience of three new transit systems. *Journal of the American Planning Association*, 51(3) :337–351, 1985.
- P.B Goodwin. A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects on price changes. *Journal of Transport Economics and Policy*, 26(2) :155–169, 1992.
- C. Gerondeau. *Les transports urbains*. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, 1977.
- T.C. Haab and K.E. McConnel. *Valuing Environmental and Natural Resources : the Econometrics of Non-Market Valuation*. Edward Elgar, 2003.
- L. Haywood and M. Koning. Pushy parisian elbows : Evidence on taste for comfort in public transport. *Working paper*, 2011.

- D.A. Hensher. Bus-based transit way or light rail? continuing the saga on choice versus blind commitment. *Road and Transport Research*, 8(3) :3–21, 1999.
- J.K. Horowitz and K.E. McConnel. A review of wtp/wta studies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 44(3) :426–447, 2002.
- J.M. Huriot and Bourdeau-Lepage. *Economie des Villes Contemporaines*. Economica, 2009.
- INFRAS-Zurich IWWW-Karlsruhe. *External Costs of Transport : Accident, Environmental and congestion Costs of Transport in Western Europe*. Rapport thématique, 2000.
- D. Jabot. Déplacements domicile-travail : un desserement de l'emploi parisien vers la grande couronne. *Insee à la page - Ile-de-France*, (265), 2006.
- J. Kain. Choosing the wrong technology : Or hwo to spend billions and reduce transit use. *Journal of Advanced Transportation*, 21(1) :197–213, 1988.
- J. Kenworthy. An international review of the significance of rail in developing more sustainable urban transport systems in higher income cities. *World Transport Policy Practice*, 14(2) :21–37, 2008.
- S. Kenyon and G. Lyons. The value of integrated multimodal information and its potential contribution to modal change. *Transportation Research Part F*, 6 : 1–21, 2003.
- M. Kilani, F. Leurent, and A. De Palma. A monocentric city with discrete transit stations. *Mimeo*, 2010.
- S. Kingham, J. Dickinson, and S. Copsey. Travelling to work : Will people move out of their cars ? *Transport Policy*, B(8) :151–160, 2001.
- M. Koning. The social cost of road congestion in the ile-de-france region (and france) : Empirical evidences from the paris ring-road. *Working paper*, 2010.
- P. Kopp. The unpredicted rise of motorcycles : A cost benefit analysis. *Transport Policy*, 18(4) :613–622, 2011.

References

- E. Korsu and M.H. Massot. Rapprocher les ménages de leurs lieux de travail : les enjeux pour la régulation de l'usage de la voiture en ile-de-france. *Les cahiers scientifiques du transport*, (50) :61–90, 2006.
- M. Kraus. Discomfort externalities and marginal cost transit fares. *Journal of Urban Economics*, 29(2) :249–259, 1991.
- M. Kraus. A new look at the two-mode problem. *Journal of Urban Economics*, 54(3) :511–530, 2003.
- M. Kraus and Y. Yoshida. The commuter's time-of-use decision and optimal pricing and service in urban mass transit. *Journal of Urban Economics*, 51 : 170–195, 2002.
- S.F. Leroy and J. Sonstelie. Paradise lost and regained : Transportation innovation, income and residential location. *Journal of Urban Economics*, 13(1) : 67–89, 1983.
- F. Leurent. Un modèle dynamique de trafic pour l'analyse économique de la congestion. *Route Roads*, pages 46–53, 2005.
- F. Leurent and Y. Askoura. The person capacity of a transit route : a review, assessment and benchmark of static models for network traffic assignment. *Papers Presented at the 2010 TRB Meeting and submitted for publication in the TRB Journal*, 2010.
- F. Leurent and K. Liu. On seat congestion, passenger comfort and route choice in urban transit : a network equilibrium assignment model with application to paris. *Paper Presented at the Annual Congress of Transportation Research Board*, 2009.
- F. Leurent, V. Breteau, and N. Wagner. *Cout marginal social de la congestion routiere. Actualisation et critique de l'approche Hautreux*. LVMT, Rapport pour le compte du MEDDAT, 2009.
- S.D. Levitt and J. Dubner. *Super Freakonomics*. Denoel Impacts, 2010.
- Y. Li. Evaluating the urban commute experience : A time perception approach. *Journal of Public Transportation*, 6(4) :41–67, 2003.

- Z. Li and D.A. Hensher. Crowding and public transport : a review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal. *Transport Policy*, (18) : 880–887, 2011.
- R. Lindsey. Do economists reach a conclusion on road pricing? *Econ Journal Watch*, 3 :292–379, 2006.
- T. Litman. *Transportation Elasticities : How Prices and others Factors affect Travel Behavior?* Victoria Transport Policy Institute, 2006.
- T. Litman. Valuing transit service quality improvements. *Journal of Public Transportation*, 11 :43–64, 2008.
- J.S. Long and J. Freese. *Regression Models for Categorical Dependent Variables Using STATA*. Stata Press, Texas, 2006.
- S. Luchini. De la singularité de la méthode d'évaluation contingente. *Economie et Statistiques*, (357-358) :141–152, 2003.
- R. Mackett, N. Paulley, J.M. Preston, J. Shires, H. Titheridge, M. Wardman, P. White, and R. Balcombe. *The Demand for Public Transport : a Practical Guide*. Wokingham, UK, TRL Limited, 2004.
- F. Maurel and J.P. Puig. Les causes économiques de la croissance urbaine. In J.F. Thisse, F. Maurel, A. Perrot, J.C. Prager, and J.P. Puig, editors, *Villes et économie*, pages 59–84. Institut des villes, Collection Villes et Société, La documentation française, 2004.
- J. Maurice. Choix des projets sous contrainte contrainte budgétaire annuelle : essai de récapitulation. In J. Maurice and Y. Crozet, editors, *Le calcul économique dans le processus des choix collectif des investissements de transport*. Economica, 2007.
- J. Maurice and Y. Crozet. *Le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport*. Economica, 2007.
- Ministère de l'Équipement. *Instruction-cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport*. Ministère de

References

l'Équipement, des Transports, de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de la Mer, version mise à jour le 27 mai 2005, 2005.

F. Mirabel. Répartitions modales urbaines, externalités et instauration de péages : Le cas des externalités de congestion et des externalités modales croisées. *Revue Economique*, 50(5) :1007–1027, 1999.

R.C. Mitchell and R.T. Carson. *Using Surveys to Value Public Goods : The Contingent Valuation Method*. Washington, D.C. : Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, 1989.

H. Mohring. Optimization and scale economies in urban bus transportation. *American Economic Review*, 62(4) :591–604, 1972.

J.E. Moore. Ridership and cost on the long-beach-los angeles blue line train. *Transportation Research A*, 27(2) :139–152, 1993.

D.M. Newberry. Pricing and congestion : economic principles relevant to pricing roads. *Oxford Review of Economic Policy*, 6(2) :22–38, 1990.

D.M. Newbery and G. Santos. Estimating urban road congestion. *CEPR Discussion Paper*, (3176), 2002.

P.W.G. Newman and J.R. Kenworthy. *Cities and Automobile Dependence. An International Sourcebook*. Gower Technical, Sidney, 1989.

Observatoire de la mobilité de la ville de Paris. Bilan des déplacements de la ville de paris. *Disponible sur le site internet de la ville de Paris*, 2002.

Observatoire de la mobilité de la ville de Paris. Bilan des déplacements de la ville de paris. *Disponible sur le site internet de la ville de Paris*, 2007.

Observatoire de la mobilité de la ville de Paris. Bilan des déplacements de la ville de paris. *Disponible sur le site internet de la ville de Paris*, 2008.

OCDE. *Managing urban traffic congestion*. OCDE, Paris, 2003.

J.M. Offner, editor. *Le Grand Paris*. Problèmes politiques et sociaux. La documentation française, 2007.

ONISR. *Synthèse-Impact de la politique de Contrôle Sanction Automatisé (2003-2005)*. Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière, 2006.

- J.P. Orfeuil. Les dépenses des ménages pour le logement et les déplacements habituels. In D. Pumain and M.F. Mattei, editors, *Données Urbaines*, pages 113–125. Economica-Anthropos, 2000.
- J.P. Orfeuil. Les mobilités en ville et hors la ville. In D. Pumain and M.F. Mattei, editors, *Données Urbaines*, pages 113–125. Economica-Anthropos, 2007.
- J.P. Orfeuil. *Une approche laïque de la mobilité*. Descartes and Cie, Paris, 2008a.
- J.P. Orfeuil. *Mobilités urbaines : l'âge des possibles*. Les carnets de l'info – Modes de Villes, 2008b.
- ORSTIE. Enquête auprès des salariés d'ile-de-france sur les transports en commun domicile-travail. *Mimeo*, 2010.
- F. Papon. La marche et le vélo : quels bilans économiques pour l'individu et la collectivité. *Transports*, (413), 2002.
- I. Parry and K.A. Small. Does Britain or the United States have the right gasoline tax? *American Economic Review*, 95 :1276–1289, 2005.
- I. Parry and K.A. Small. Should urban transit subsidies be reduced? *American Economic Review*, 99 :700–724, 2009.
- I. Parry, W. Harrington, and M. Walls. Automobile externalities and policies. *Journal of Economic Literature*, 65 :373–399, 2007.
- M. Perbet. Effets et maîtrise des nuisances urbaines. In J.F. Thisse, F. Maurel, A. Perrot, J.C. Prager, and J.P. Puig, editors, *Villes et économie*, pages 207–237. Institut des villes, Collection Villes et Société, La documentation française, 2004.
- D.H. Pickerell. A desire named streetcar : Fantasy and fact in rail transit planning. *Journal of the American Planning Association*, 58 :158–176, 1992.
- A.C. Pigou. *The economics of welfare*. London : Macmillan and co., 1920.
- M. Pinçon and M. Pinçon-Charlot. *Sociologie de Paris*. Collection Repères, Paris, 2008.

References

- S. Proost and K.V. Dender. Optimal urban transport pricing in the presence of congestion, economies of density and costly public funds. *Transportation Research-Part A*, 42(9) :1220–1230, 2008.
- R. Prud'homme and P. Kopp. Worse than a congestion charge : Paris traffic restrain policy. In R. Richardson and C.B. Chang Hee, editors, *Road Congestion Pricing Book*, pages 252–272. Edward Elgar, 2008.
- R. Prud'homme and P. Kopp. Coûts, recettes et gains de la route. *Transports*, (460) :93–99, 2010a.
- R. Prud'homme and P. Kopp. The stockholm toll : An economic evaluation. *Internation Journal of Transport Economics*, 37(2), 2010b.
- R. Prud'homme and C.W. Lee. Size, sprawl and the efficiency of cities. *Urban Studies*, 11 :1849–1858, 1999.
- R. Prud'homme and Y.M. Sun. Le coût économique de la congestion du périphérique parisien : une approche désagrégée. *Les cahiers scientifiques du transport*, 37(2) :59–73, 2000.
- R. Prud'homme, M. Koning, L. Lenormand, and A. Fehr. Public transport congestion costs : The case of paris subway. *In revision in Transport Policy*, 2010.
- R. Prud'homme, M. Koning, and P. Kopp. Substituting a tramway to a bus line in paris : Costs and benefits. *Transport Policy*, 18(4) :563–572, 2011.
- E. Quinet. Evaluation methodologies of transportation projects in france. *Transport Policy*, 7(1) :27–34, 2000.
- E. Quinet. A metaanalysis of western europe external costs estimates. *Transportation Research-D*, (9) :465–476, 2004.
- E. Quinet and R. Vickerman. *Principles of Transport Economics*. Edward Elgar Publishing, 2004.
- RATP. *Statistiques annuelles 2002*. Régie autonome des transports parisiens, 2003.

- RATP. *Statistiques annuelles 2007*. Régie autonome des transports parisiens, 2008.
- C. Raux and S. Souche. The acceptability of urban road pricing : a theoretical analysis applied to experience in lyon. *Journal of Transport Economic and Policy*, 38(2) :191–216, 2004.
- J.E.D. Richmond. The mythical conception of rail transit in los angeles. *Journal of Architectural and Planning Research*, 15(4) :294–320, 1998.
- J. Roecklein. *The concept of time in psychologie*. Westport, CT : Greenwood Press, 2000.
- W. Rothengatter. How good is first best ? marginal cost and other pricing principles for user charging transport. *Transport Policy*, 10 :121–130, 2003.
- M.P. Rousseau. *La productivité des grandes villes*. Economica - Collection Villes, 1998.
- C. Saint-Etienne and V. Piron. *Les partenariats public-privé, leviers pour l'investissement, l'activité et l'emploi*. Institut de la Gestion Déléguée - La documentation française, 2006.
- G. Santos and J. Bharkarb. The impact of the london congestion charging scheme on the generalized cost of car commuters to the city of london from a value of travel time savings perspective. *Transport Policy*, (13) :22–33, 2006.
- R. Sheamur and C. Alvergne. Regional planning policy and the location of employment in the ile-de-france - does policy matter ? *Urban Affairs Review*, 39 (1) :3–31, 2003.
- K.A. Small. Using the revenues from congestion pricing. *Transportation*, 19 : 359–381, 1992.
- K.A. Small and E. Verhoef. *The Economics of Urban Transportation - 2d Edition*. Routledge, 2007.
- T. Tabuchi. Bottleneck congestion and modal split. *Journal of Urban Economics*, 34 :414–431, 1993.

References

- Technologia. Etude d'impact des transports en commun de région parisienne sur la santé des salariés et des entreprises. *Mimeo*, 2010.
- TERM. *External costs and charges per vehicle*. European Environmental Agency, 2005.
- J.F. Thisse. La croissance de la population est-elle favorable aux villes? In J.F. Thisse, F. Maurel, A. Perrot, J.C. Prager, and J.P. Puig, editors, *Villes et économie*, pages 27–58. Institut des villes, Collection Villes et Société, La documentation française, 2004.
- J.F. Thisse and M. Lafourcade. New economic geography : a guide to transport analysis. *Paris School Economics Working Paper*, (2), 2008.
- Transportation Research Board. *Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd. ed.* Washington, DC, 1999.
- T. Tsekeris and S. Voss. Design and evaluation of road pricing : State-of-the-art and methodological advances. *Netnomics*, (10) :5–52, 2009.
- Union Routière Française. *Faits et chiffres 2006 - statistiques du transport en France, n°6*. Union Routiere Française, 2007.
- N.J.A. Van Exel and P. Rietveld. Perceptions of public transport travel time and their effect on choice-set among car drivers. *Journal of Transport and Land Use*, 3/4 :75–86, 2010.
- E.T. Verhoef. Time, speed, flows and densities in static models of road congestion and congestion pricing. *Regional Science and Urban Economics*, 29 :341–369, 1999.
- W.S. Vickrey. Congestion theory and transport investment. *American Economic Review*, 59 :251–260, 1969a.
- W.S. Vickrey. Congestion theory and transport investment. *American Economic Review*, 59 :252–260, 1969b.
- E. Vivant. *Qu'est-ce que la ville créative?* Presses Universitaires de France, 2009.
- VTPI. *Transportation Cost and Benefit Analysis : techniques, estimates and implications*. Victoria Transport Policy Institute, 2009.

- A. Walters. The theory and measurement of private and social cost of highway congestion. *Econometrica*, 29(4) :676–699, 1961.
- M. Wardman. A review of british evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research E*, 37(2-3) :107–128, 2001.
- M. Wardman. Public transport values of the time. *Transport Policy*, 11 :363–377, 2004.
- M. Wardman and A.L. Bristow. Valuation of aircraft noise : Experiments in stated preference. *Environmental and Resource Economics*, 39(4) :459–480, 2008.
- M. Wardman and G. Whelan. Twenty years of rail crowding valuation studies : evidence and lessons from british experience. *Transport Reviews*, 31(3) :379–398, 2011.
- R. Wener, G.W. Evans, and P. Boatley. Commuting stress : Psychological effects of a trip and spillover into the workplace. *Transportation Research Board*, 1924/2005 :112–117, 2005.
- S. Wenglenski. Catégorie sociale et accessibilité de l’emploi en ile-de-france. In D. Pumain and M.F. Mattei, editors, *Données Urbaines*, pages 171–182. Economica-Anthropos, 2007.
- G. Whelan and J. Crockett. An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding. *Proceeding of the First International Conference on Choice Modelling, Harrogate, England*, 2009.
- C. Winston and V. Maheshri. On the social desirability of urban rail transit system. *Journal of Urban Economics*, 62(2) :362–382, 2007.

Liste des tableaux

1.1	Évolution de la population régionale, 1960-2000	40
1.2	Évolution de l'emploi régional, 1978-1997	40
1.3	Répartition modale des déplacements quotidiens (en milliers) en Ile-de-France, 1976-2001	41
1.4	Répartition spatiale des déplacements motorisés quotidiens (en milliers) en Ile-de-France, 1976-2001	42
1.5	Répartition modale des déplacements intéressant Paris, 2001	44
1.6	Répartition modale des déplacements intéressant Paris (milliards de pkm), 2000-2007	47
2.1	Indicateurs de trafic sur le boulevard Périphérique, 2000-2007	80
2.2	Nombre de kilomètres parcourus quotidiennement sur le boulevard Périphérique, 2000-2007	81
2.3	Indicateurs Généraux, 2000-2007	83
2.4	Niveaux d'utilisation effective et optimale du boulevard Périphérique, selon des classes de vitesse de 5 km/h	88
2.5	Coûts économiques de la congestion routière sur le boulevard Périphérique	93
2.6	Coûts "économiques" de congestion sur le boulevard Périphérique, selon l'échelle temporelle	95
2.7	Coûts "'économiques'" de congestion sur le boulevard Périphérique, selon l'échelle spatiale	98
2.8	Coûts (privé, social, marginal) d'utilisation du boulevard Périphérique et taxes optimales	102
2.9	Grille de tarification optimale pour le boulevard Périphérique	105
2.10	Ampleur (et diversité) du coût agrégé de congestion routière, 2007	111
2.11	Relations vitesse-densité	115
2.12	Gaps entre situations effectives et optimales durant les heures de pointe	116
3.1	Offre et demande de métros parisiens, 2002-2007	121

3.2	Statistiques descriptives	138
3.3	Pour bénéficier du confort des heures creuses, seriez-vous prêt(e) à rallonger votre déplacement de X minutes?	140
3.4	Consentement à payer pour le confort (en euros par déplacement)	141
3.5	Sur-déplacement (en % de la durée d'un déplacement)	142
3.6	Déterminants du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort"	150
3.7	Déterminants du "consentement à payer pour le confort"	151
3.8	Déterminants du "sur-déplacement"	153
3.9	Probabilités prédites du "consentement à voyager plus longtemps contre plus de confort" (en minutes par déplacement)	154
3.10	Déterminants de la congestion subjective dans la ligne 1	155
3.11	Distribution de la durée des déplacements dans la ligne 1 (en minutes)	164
3.12	Distribution de la note subjective	164
3.13	Distribution de la densité de passagers dans la ligne 1 durant les interviews (en passagers/ m^2)	164
3.14	"Fully-standardized coefficients" des variables explicatives	165
3.15	Prédictions du "consentement à payer pour le confort" (en euros par déplacement)	166
3.16	Prédictions du "sur-déplacement" (en % de la durée d'un déplacement)	167
4.1	Origine modale des utilisateurs du tramway	175
4.2	Impact du tramway sur la mobilité automobile	177
4.3	Changements dans la structure des déplacements sur l'axe IG	180
4.4	Impacts du projet tramway sur les émissions de CO2	193
4.5	Catégories socio-professionnelles des personnes interrogées	200
4.6	Départements de résidence, d'origine et de destination des utilisateurs du tramway	200
4.7	Motifs des déplacements en tramway	201
4.8	Fréquence hebdomadaire d'utilisation du tramway	201
4.9	Nombre d'inter-stations réalisées en tramway	201
4.10	Autres modes de transport utilisés par les voyageurs du tramway, 70% de l'échantillon	201
4.11	Coûts marginaux de congestion et émissions marginales de CO2 sur le boulevard Périphérique Sud	204
4.12	Coûts et bénéfices du projet tramway	205

Liste des graphiques

1.1	La région Ile-de-France	38
2.1	Utilisations d'équilibre et optimale de la route	67
2.2	Représentation de la technologie de la route	71
2.3	Transposition de la relation vitesse-flux à l'analyse "pigouvienne" . .	73
2.4	Modélisation "statique" de la congestion avec désagrégation de la demande	76
2.5	Carte du boulevard Périphérique	114
3.1	Mesures objectives et subjectives de la congestion dans la ligne 1 . . .	139
4.1	Aire géographique d'étude	172
4.2	Comportement des automobilistes sur les boulevards des Maréchaux .	178
4.3	Surplus des usagers des transports publics sur l'axe IG	181
4.4	La relation vitesse-émissions de CO2	188