Tarification des Transports Individuels et Collectifs à Paris
- Dynamique de l'Acceptabilité –

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (MEDDE), Direction de la Recherche et de l'Innovation (CGDD/DRI)

Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

Programme de Recherche Et D'Innovation dans les Transports terrestres (PREDIT) – Groupe Opérationnel 6 « Politiques de Transport »

Subvention n° 09 MT CV 14

Ecole Normale Supérieure de Cachan

Octobre 2012

Rapport final

Octobre 2012

André de Palma, ENS Cachan (Responsable du projet)

Guillaume Monchambert, ENS Cachan
Nathalie Picard, Université de Cergy Pontoise
Stef Proost, KU Leuven (Belgique)

Matthieu de Lapparent, IFSTTAR et ENS Cachan
Mogens Fosgerau, DTU Technical University Denmark, (Danemark)
Robin Lindsey, Université de Colombie Britannique (Canada)
Moez Kilani, Université de Lille et KU Leuven (Belgique)

Mots clés : Tarification, Modèles Dynamiques, Environnement, Paris, Île-de-France, Dynamique de l'Acceptabilité, Economie Politique, Transports Publics et Privés

Contact :
André de Palma, Professeur
Ecole Normale Supérieure de Cachan
61, avenue du Président Wilson
94230 Cachan CEDEX
Tél : +33 6 88 71 43 44
Fax : +33 1 47 40 24 60
Email : andre.depalma@ens-cachan.fr

Tables des Matières

I. SYNTHESE OPERATIONNELLE 10

A. Les effets de bien-être d'une légère modification de la tarification des transports publics 10

B. Un modèle plus désagrégé : Premiers Résultats 11

C. Préliminaires d'une étude avec le modèle METROPOLIS 13

II. RAPPEL DU CONTEXTE DU PROJET 17

III. POSITIONNEMENT DANS LA LITTERATURE EXISTANTE 20

A. Un court rappel de l'état de l'art 20
1. Une brève revue des expériences de péage urbain 22
2. La théorie de la tarification des transports 24
3. Réforme et acceptation 25
4. Les problèmes de la modélisation du transport urbain 26

B. Nouvelles contributions au corpus théorique 29
1. Méthodes et Technologies de Tarification de la Congestion Routière 29
2. Congestion dans une Ville avec un Goulet d'Etranglement Central 29
3. La Localisation et la Tarification des Stations de Transport en Commun 30
4. Réduire les Externalités du Transport Routier Urbain : Tarification Routière en Théorie et en Pratique 30
5. Comment un Couloir à Grande Vitesse peut-il remplacer un Péage de Congestion ? 31
6. Un modèle d'Economie Politique de Tarification Routière 31
7. Tarification de Cordon dans une Ville Monocentrique : Théorie et Application à la Région de Paris 32
8. Tarification de Congestion et Forme Urbaine de Long Terme : Application à la Région de Paris 33
9. Compétitions Multi-joueurs, Multi-gains et imparfaitement discriminée 35

IV. L'ENQUETE MIMETTIC : MOBILITE DES INDIVIDUS ET DES MENAGES ET TARIFICATION DES TRANSPORTS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS 37

A. L'Etat de l'art 39
1. Les enquêtes existantes 39
2. Le modèle de choix de l'horaire de départ 42

B. Présentation de la méthodologie d'enquête 45
1. La proposition de recherche 45
2. La construction du questionnaire 45
3. Bases de données 48

C. Les principaux résultats statistiques 49
1. Caractéristiques de l'échantillon 49
2. Caractéristiques de déplacements 53
3. Réactions face aux variations de scenarii 54

D. L'estimation des propensions à payer 56

1. Le contexte théorique 56
2. L'évaluation de la valeur du temps 56
3. L'évaluation des coûts de déshorage grâce à un modèle trivarié 59

V. TARIFICATION DU TRANSPORT DANS LA REGION ILE-DE-FRANCE 61

A. Un modèle agrégé pour la tarification optimale des transports publics 64
1. Le modèle 64
2. Données de base pour Paris – Londres 65
3. Les effets de bien-être d'une légère modification de la tarification des transports publics 70
4. Les effets de bien-être de modifications importantes de la tarification des transports publics 71
5. Analyse de sensibilité 71
6. Synthèse et conclusion 73

B. Un modèle plus désagrégé 74
1. Principes de modélisation et hypothèses utilisées 74
2. L'équilibre de référence 81
3. Les réformes de tarification 84
4. Premiers Résultats 86
5. Impact des différents schémas de tarification 91

C. Préliminaires d'une étude avec METROPOLIS 101
1. Le modèle de base 101
2. Calibrage du modèle 102
3. Scénario de Base 105
4. Résultats des différents projets de tarification de la congestion 108

VI. CHOIX DES HORAIRES DE DEPLACEMENTS, STRUCTURE URBAINE ET ANALYSE GEOGRAPHIQUE DE L'ACCEPTABILITE 117

A. Un essai de modélisation 118
1. Contexte théorique 118
2. Résultats 119
3. Perspectives scientifiques 120

B. Quelques résultats issus de l'enquête MIMETTIC 122
1. Connaissance des péages existants 122
2. Opinion sur les effets des péages 122
3. Acceptation d'un péage urbain à Paris 123
4. Opinion sur la tarification 124
5. Estimation du résultat du referendum 125

VII. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES 127

VIII. BIBLIOGRAPHIE 129

IX. ANNEXES 137

Volume 1 : Contributions théoriques **137**

A. Méthodes et Technologies de Tarification de la Congestion Routière **137**

B. Congestion dans une Ville avec un Goulet d'Etranglement Central **137**

C. Localisation et Tarification des Stations de Transport en Commun **137**

D. Réduire les Externalités du Transport Routier Urbain : Tarification Routière en Théorie et en Pratique **137**

E. Comment un Couloir à Grande Vitesse peut-il remplacer un Péage de Congestion ? **137**

F. Un modèle d'Economie Politique de Tarification Routière **137**

G. Tarification de Cordon dans une Ville Monocentrique : Théorie et Application à la Région de Paris **137**

H. Tarification de Congestion et Forme Urbaine de Long Terme : Application à la Région de Paris/Île-de-France **137**

I. Compétitions Multi-joueurs, Multi-gains et discrimination imparfaite **137**

Volume 2 : MIMETTIC et éléments d'estimation des modèles urbains **137**

A. Les questionnaires de l'enquête **137**

B. Le dictionnaire de l'enquête **137**

C. Tarification des transports individuels et collectifs à Paris **137**

Remerciements

Nous tenons à remercier, dans un premier temps, MM. Gérard Brun (DRI) et Pierre Taillant (ADEME) pour leur soutien constant dans la réalisation de ce projet, ainsi que pour leurs remarques et commentaires. Ces derniers nous ont permis de clarifier de nombreux points. De même, nous tenons à remercier les participants au séminaire PREDIT du 6 juin 2012 pour leurs suggestions.

Nous tenons aussi à remercier les collègues avec qui nous avons pu avoir de nombreuses discussions au cours de conférences (en particulier lors des conférences Kuhmo-Nectar 2011 et 2012) et à l'occasion de différentes réunions de travail.

Nous remercions Saskia Van der Loo (KU Leuven) et Mohammed Saifuzzaman (ENS Cachan) de l'aide apportée dans la modélisation et la calibration des schémas de tarification.

Enfin, nous remercions Jérémy L'Hour (ENS Cachan), Louis Chauveau (Université de Cergy-Pontoise) ainsi que l'équipe Transport-Mobilité du laboratoire THEMA de l'Université de Cergy-Pontoise dirigée par Nathalie Picard pour leur collaboration sur l'enquête MIMMETIC (réalisée en collaboration avec la société TNS Sofres).

I. Synthèse opérationnelle

Cette partie constitue un résumé des principaux résultats obtenus dans le cadre de ce projet. Nous mettons l'accent sur les évaluations des politiques de tarification qui présentent des intérêts opérationnels. Afin d'évaluer les différents politiques de tarification, trois modèles ont été utilisés. Chacun repose sur des hypothèses différentes, mais nous avons essayé d'harmoniser au mieux les bases de données utilisées ainsi que les valeurs tutélaires utilisées.

A. Effets sur le bien-être d'une modification de la tarification des transports publics

Afin de répondre à la question de la subvention optimale dans les transports en commun, Parry et Small (2009) ont développé un modèle agrégé de transport urbain tenant compte du transport particulier (voiture) et du transport collectif (bus et modes ferrés). Ce modèle tient compte à la fois des coûts financiers mais aussi des coûts externes comme la congestion et la nuisance à l'environnement. Le principal résultat de cette analyse suggère que les subventions accordées au transport urbain collectif sont souvent bénéfiques à la collectivité et améliorent le bien-être dans chacune de ces villes. Nous avons cherché dans cette étape à appliquer le modèle de Parry et Small sur la région parisienne afin d'évaluer l'impact des subventions accordées au secteur du transport urbain collectif.

Les principales données nécessaires à ce travail concernent les transports publics. Nous avons principalement utilisé les rapports annuels du STIF (2008) et de la RATP. Certains paramètres ont dû être calibrés. Dans ce cas, nous nous sommes inspirés des ordres de grandeurs utilisés par Parry et Small (2009) pour Londres.

Une baisse du prix du rail de 1 € centime en période de pointe augmente le bien-être social de 1.30 € centime pour chaque passager km de rail en période de pointe. Cette valeur est positive : il y a un effet positif sur le bien-être social. Lorsqu'il y a un coût de congestion important, certains usagers de véhicule personnel vont changer de mode, et il y a par conséquent une diminution des coûts externes. L'hypothèse selon laquelle 50% des voyageurs supplémentaires sont des automobilistes est ici centrale. Une augmentation des subventions pour le rail est moins pertinente si l'on constate qu'une baisse des prix du rail n'attire pas davantage de voyageurs, si l'utilisation de la voiture en période de pointe est tarifée à son juste prix ou si le coût des fonds publics est trop élevé. Les arguments en faveur des subventions pour le bus hors période de pointe sont différents. Le bus hors pointe a la capacité d'accueillir plus de passagers à un coût très faible (effet d'échelle), et a par conséquent un coût marginal nettement inférieur au coût moyen. Les baisses de prix les plus bénéfiques sont donc celles pour les voies ferrées en pointe et pour le bus hors pointe. Pour les modes ferrés et pour le bus en pointe, on trouve un effet positif important de la réduction des externalités. Il s'agit surtout de la substitution de passagers-kms en voiture associé à un coût externe de congestion important. Finalement il y a les effets de substitution entre modes de transport publics, ces effets sont souvent moins importants parce que la plupart (40 à 50%) des nouveaux passagers viennent du mode automobile ou du même mode (10 à 20%).

	Modes ferrés		Bus	
	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe
Subvention actuelle en % du coût de fonctionnement	65	73	69	51
Effet sur surplus social marginal				
Centimes d'€ de bien-être par passager-km	**1,30**	**0,07**	**0,95**	**2,54**
Coût marginal – prix	-0,18	-0,75	-0,29	-0,12
Effet d'échelle net	0,04	0,49	0,23	2,23
Externalité	1,25	0,82	1,00	0,19
Effets sur les autres modes de transport public	0,19	-0,49	0,00	0,23
Centime d'€ de bien-être par passager-km à 50% de subvention	**1,14**	**0,26**	**0,88**	**2,88**
Subvention optimale en % du coût de fonctionnement	>90	82	>90	>90
Part de la subvention provenant de				
Différence entre coût marginal et coût moyen	0,17	0,52	0,25	0,26
Economie d'échelle nette	0,02	0,28	0,12	0,58
Externalités	0,70	0,49	0,62	0,07
Autres TC	0,11	-0,29	0,00	0,09
% variation en passagers-kilomètres	19,0	7,9	60,8	196,3

Subvention optimale pour les transports publics à Paris

En conclusion, les effets dominants sont la substitution du mode voiture en période de pointe et les effets d'échelle pour le bus en période hors pointe.

B. Un modèle plus désagrégé intégrant un péage urbain : Premiers Résultats

Nous analysons différentes combinaisons de modifications de la tarification des voitures privées, du transport public et de la taxation du travail. Nous utilisons un modèle classique de l'économie publique du type réforme marginale de la taxation indirecte. Cette technique est appliquée au transport dans Mayeres et Proost (2001) et Calthrop, De Börger, Proost (2010). Le grand principe de ce type de modèles est qu'ils considèrent uniquement des réformes qui respectent l'équilibre budgétaire : si on augmente la taxe sur un certain bien X, ceci permettra de diminuer la taxe sur le bien Y.

Nous étudions dans ce cadre deux types de scénarii : les scenarii de péage de zone pour Paris, la Petite Couronne et la Grande Couronne (qui concernent respectivement les déplacements en voiture

dans Paris, dans Paris et la Petite Couronne et dans l'ensemble de la région parisienne) et les scenarii de péage cordon pour Paris et la Petite Couronne (qui concernent tous les déplacements en voiture entrant ou sortant respectivement de Paris et de la Petite Couronne).

Scénario	**Descriptif**	**Impacts**	
		Volumes de Transport	**Effets sur le bien-être**
Zone	Paris	- Diminution relativement importante des déplacements voiture à Paris - Augmentation des flux sur les modes substituables (bus notamment)	- positif – sans grandes différences entre classes pauvres et riches quand les recettes nettes sont redistribués d'une façon uniforme
	Petite Couronne	- Le flux des déplacements voitures diminue à Paris et à la petite couronne - Un important report modal sur le bus et les transports collectifs	- positifs – sans grande différences entre classes pauvres et riches quand les recettes nettes sont redistribués d'une façon uniforme
	Grande Couronne	Le flux des déplacements voitures diminue partout - Un important report modal sur le bus et les transports collectifs	- Les effets augmentent mais de manière moins importante (en comparant par rapport un passage d'une tarification sur Paris et son extension à la petite couronne) - Plutôt bénéfique à la classe des usagers « pauvres »
Cordon	Paris	- Le trafic diminue légèrement à Paris - Les déplacements vers Paris de l'extérieur diminuent sensiblement - Les déplacements à Paris des résidents parisiens augmentent de manière significative - il y a un report modal du trafic important sur les bus dans Paris mais une variation moins importante sur le métro	-Effets moins important par rapport à une tarification de zone. - Plutôt bénéfique à la classe des usagers « pauvres »
	Petite couronne	Effets comparables à un cordon sur Paris mais par rapport à une aire géographique plus étendue	- Impacts légèrement plus importants qu'un cordon sur Paris mais moins importants qu' 'une tarification zonale - Plutôt bénéfique à la classe des usagers « pauvres »
Transports collectifs	Augmentation des Prix	- Report modal sur le mode privé - Augmentation de la congestion sur les routes	- L'augmentation de la tarification profite principalement aux usagers « riches » - Les effets sont plutôt positifs quand on tient compte des coûts pour augmenter les flux en période de pointe

Tableau récapitulatif des aspects qualitatifs

Dans l'ensemble, le travail nous a permis de tirer trois conclusions :

Premièrement, on trouve que, moyennant des coûts de transaction raisonnables (nettement moins que 50% des recettes), un péage de zone au niveau de la Petite Couronne peut générer des gains de bien-être importants pour la plupart des résidents concernés.

Deuxièmement, le gain de bien-être peut encore augmenter quand on réduit le taux de subvention des transports publics. En effet, quand la tarification des transports privés est corrigée, il devient plus difficile de justifier un taux de subvention aussi élevé, car la principale raison d'être de la subvention (diminution des externalités de la voiture) a disparu.

Troisièmement, les effets de bien-être ne sont pas forcément très différents pour les *pauvres* et les *riches* quand les recettes nettes du péage sont redistribuées d'une façon uniforme sur la population.

C. Préliminaires d'une étude avec le modèle METROPOLIS

La dernière étude utilise un modèle de transport dynamique, METROPOLIS. Différents systèmes de tarification sont appliqués à l'Île-de-France pour observer les réactions des automobilistes en termes de choix de mode, d'itinéraire et d'heure de départ. Pour cela, nous utilisons le logiciel METROPOLIS, un simulateur dynamique capable de représenter le trafic sur un réseau routier à une échelle géographique et temporelle très fine (43 857 liens et 1289 origines ou destinations).

Nous abordons 5 scenarii de tarification de la congestion dans ce travail. La situation de base correspond à la situation actuelle en Île-de-France où le seul péage en vigueur concerne l'autoroute A 14.

	Situation de Base	Péage Cordon autour de Paris (7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors)	Différence[1]	Péages cordons pour Paris et la Petite (7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors)	Différence
Nombre de véhicules	601032	593758	-1,2%	574516	-4,41%
Part TC (%)	48,48%	49,12%	0,6%	50,76%	2,28%
Temps de transport (min)	19,44	19,21	-1,2%	18,28	-5,98%
Coût de transport (€)	10,22	10,23	0,2%	10,17	-0,44%
Coût net[2] (€)	10,21	10,11	-1,0%	9,72	-4,82%
Coût de déshorage (€)	3,40	3,38	-0,6%	3,31	-2,50%
Revenu du péage (€)	4 703	74 453		261 317	
Surplus du consommateur (€)	-9,384	-9,409		-9,568	
Surplus Net[3] (€)	-9,376	-9,284	0,092	-9,113	0,2634
Equité (€)	6,02	5,60	-0,43%	6,25	3,81%
Ratio d'arrivées en avance (%)	54,27	54,28	0,01%	54,87	1,11%
Ratio d'arrivées à l'heure(%)	20,03	20,28	1,22%	20,58	2,74%
Congestion (%)	53,99	52,52	-2,72%	46,92	-13,08%
Distance totale parcourue (10^6 veh-km)	8,38	8,31	-0,80%	7,90	-5,64%
Vitesse (km/h)	45,85	46,56	1,55%	48,20	5,14%

Résultats agrégés de l'introduction d'un péage cordon autour de Paris

[1] Evolution par rapport à la situation de base

[2] Coût net = coût de transport – revenu du péage/nombre de déplacements par voiture

[3] Surplus net = surplus du consommateur – revenu du péage/ nombre de déplacements par voiture

	Péage cordon autour de la Petite Couronne (7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors)	Diff.	Péage cordon autour de la Petite Couronne (5,3€ en période de pointe et 3,7€ en dehors)	Diff.	Péage de zone dans Paris (0,8€ pour les résidents dans Paris et 8€ pour les autres)	Diff.
Nombre de véhicules	581840	-3,2%	584725	-2,7%	584034	-2,8%
Part TC (%)	50,12%	1,6%	49,89%	1,4%	49,95%	1,5%
Temps de transport (min)	18,59	-4,4%	18,70	-3,8%	18,93	-2,6%
Coût de transport (€)	10,18	-0,3%	10,16	-0,6%	10,18	-0,4%
Coût net[4] (€)	9,84	-3,6%	9,88	-3,2%	10,02	-1,8%
Coût de déshorage (€)	3,33	-2,1%	3,33	-2,1%	3,39	-0,2%
Revenu du péage (€)	199551		165072		91101,88	
Surplus du consommateur (€)	-9,544		-9,514		-9,495	
Surplus Net[5] (€)	-9,201	0,175	-9,232	0,144	-9,339	0,037
Equité (€)	6,25	3,8%	6,18	2,6%	6,03	0,2%
Ratio d'arrivées en avance (%)	54,88	1,1%	55,20	1,7%	55,48	2,2%
Ratio d'arrivées à l'heure(%)	20,44	2,0%	20,35	1,6%	20,04	0,0%
Congestion (%)	48,66	-9,9%	48,70	-9,8%	49,61	-8,1%
Distance totale parcourue (10^6 veh-km)	8,01	-4,4%	8,10	-3,3%	8,21	-2,0%
Vitesse (km/h)	47,47	3,5%	47,47	3,5%	47,54	3,7%

Résultats agrégés de l'introduction d'un péage cordon autour de la Petite Couronne

Nous montrons que le coût de déplacement augmente légèrement avec un péage cordon autour de Paris en raison des frais de péage, mais que le coût net, qui prend en compte la redistribution des revenus du péage, décroit pour tous les scenarii de tarification envisagés par rapport à la situation de base. La mise en place simultanée de deux péages cordon autour de Paris et de la Petite Couronne constitue la solution qui permet la plus grande diminution du coût de transport.

Le surplus des consommateurs est toujours inférieur en situation de tarification, car ces usagers doivent payer le péage. Cependant, un gain net est possible, ce qui prouve que les usagers tirent des bénéfices du péage à long terme.

Les autres indicateurs de performance du réseau tels le temps de trajet, le coût de déshorage, la congestion, le ratio d'arrivée à l'heure ou la vitesse sont aussi l'objet de changements significatifs.

[4] Coût net = coût de transport – revenu du péage/nombre de déplacements par voiture
[5] Surplus net = surplus du consommateur – revenu du péage/ nombre de déplacements par voiture

Nous observons que les individus préfèrent en moyenne arriver en avance lorsque qu'est mis en place un système de tarification de la congestion. La distance totale parcourue diminue dans tous les scenarii étudiés, car des voyageurs préfèrent utiliser les transports en commun plutôt que leur voiture personnelle en raison du surcoût induit par la mise en place des péages.

Projet	Description	Revenu (€10^6 /an)	Gain des usagers (10^6 €/an)	Diminution des coûts externes (10^6 €/an)	Gain de bien-être (10^6 €/an)
Péage Cordon autour de Paris	7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors	319,09	235,31	65,5	300,81
Péages cordons pour Paris et la Petite	7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors	1119,95	648,56	322	970,56
Péage cordon autour de la Petite Couronne	7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors	855,24	436,74	246,5	683,24
Péage cordon autour de la Petite Couronne	5,3€ en période de pointe et 3,7€ en dehors	707,46	361,57	195,5	557,07
Péage de zone dans Paris	(0,8€ pour les résidents dans Paris et 8€ pour les autres)	390,44	93,27	202,09	295,36

Principaux résultats statistiques des différents projets de tarification

La mise en place simultanée de péages cordon autour de Paris et de la Petite Couronne permet de collecter le plus haut revenu. Il est intéressant de noter que bien que l'augmentation du montant du péage entre les deux scenarii de péage cordon autour de la Petite Couronne soit de 56%, le revenu du péage et le gain de bien-être n'augmentent respectivement que de 21 et 23%. Il n'y a donc pas de lien de proportionnalité entre montant du péage et gains de bien-être et de revenu. Cependant, le gain de bien-être augmente avec la mise en place de péage. Dans tous les scenarii excepté celui du péage de zone dans Paris, les bénéfices des usagers sont supérieurs à la réduction des coûts externes.

II. Rappel du contexte du Projet

Le but de cette recherche est de proposer un ensemble d'approches permettant d'étudier les processus relatifs à l'introduction de différents types de péage et de mécanismes de tarification pour les transports à Paris et en Île-de-France. Ceci concerne aussi bien le transport privé que le transport collectif. La problématique de la tarification des transports individuel et collectif et de son acceptabilité par différentes parties prenantes peut être étudiée à divers niveaux. Dans le contexte d'une analyse économique, nous avons développé un ensemble d'outils appropriés reposant à la fois sur des bases théoriques rigoureuses, sur une connaissance des spécificités de la région étudiée et de ses acteurs et sur des données de qualité.

Ce projet est étroitement lié à un autre projet soutenu lui aussi par le PREDIT, « Trajets et Mobilité des Ménages : choix individuels et collectifs », porté par Nathalie Picard (Université de Cergy-Pontoise), notamment dans ses dimensions « collecte de données » et « problématique des choix horaires de déplacement ». André de Palma (ENS Cachan) est le porteur principal du projet, secondé par Stef Proost (Katholieke Universiteit Leuven). Le pilotage scientifique est complété par un panel d'experts essentiellement internationaux (Robin Lindsey, Mogens Fosgerau). Le projet est organisé en 8 tâches interdépendantes (Figure 1) :

[1] Pilotage et coordination (tâche 1) : chapeau administratif
[2] Revue de la littérature (tâche 2) : positionnement dans la littérature existante
[3] Contributions théoriques (tâche 3) : contributions au corpus théorique
[4] Attitudes des parties prenantes (tâche 4) : identification et analyse qualitative des acteurs régionaux
[5] Enquête et données (tâche 5) : collecte de données pour la mise à jour de paramètres structurels nécessaires à la calibration de modèles de simulation
[6] Construction de scénarios de réforme (tâche 6)
[7] Estimations et simulations (tâche 7)
[8] Diffusion (tâche 8) : communications, publications

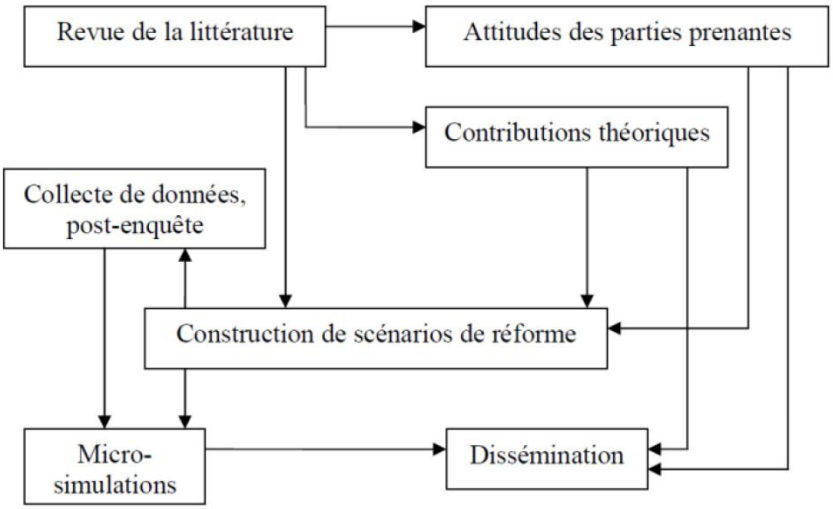

Figure 1 : Organisation des tâches du projet

Nous proposons d'étudier ce problème à travers différents modèles quantitatifs, prenant en compte les réactions comportementales de court terme (choix de mode, kilomètres parcourus) dont

l'ampleur dépend des caractéristiques individuelles et du motif de déplacement. Notre analyse tient compte de l'état initial (sans péage), de l'état final (avec péage) et, quand cela est possible, des étapes intermédiaires. Ce sont généralement ces dernières qui sont déterminantes pour la réussite ou non d'une réforme. Différents types de péage sont envisagés : péages dans l'hypercentre de Paris, dans le centre de Paris, dans la petite ou grande couronne et dans la grande banlieue. Les péages envisagés incluent les péages de cordon et des péages de zone. La tarification des stationnements n'a pas été envisagée. Nous nous limiterons à l'étude des péages ayant le plus de chance d'être effectifs et d'être acceptés par les usagers des transports en commun et individuels. Les différentes phases de la mise en place du péage et de ses mesures d'accompagnement comprennent :

- L'introduction des différents instruments complémentaires de régulation (transports publics, parking) ;
- Des mécanismes de redistribution et mécanismes de réforme des autres taxes ;
- L'organisation éventuelle d'une phase de test ;
- L'introduction simultanée du péage pour tous les conducteurs ou l'introduction progressive ;
- L'observation et la communication des résultats intermédiaires ;
- Un processus de décision : concertation et décision politique.

Les modèles qualitatifs et quantitatifs permettant différentes analyses de sensibilité des acteurs et la simulation de politique tarifaire sont calibrés sur la base d'informations statistiques collectées au moyen d'une nouvelle enquête que nous décrivons plus loin dans le rapport.

Un rapport intermédiaire présentant l'état d'avancement du projet a déjà été produit et confié aux financeurs le 12 Septembre 2011. Il faisait un premier bilan et présentait ce qui avait été réalisé (ou était en cours de réalisation) et des tâches restantes, y compris certains livrables internes au projet.

L'objectif de ce rapport final est de rendre compte de tout ce qui a été réalisé durant la période couverte par le contrat. Pour cela, nous aborderons successivement les dernières contributions au corpus théorique produites par les participants au projet, et plus particulièrement les nouveaux ajouts depuis la remise du rapport intermédiaire : l'étude du déshorage lié à la tarification des transports grâce à l'enquête MIMETTIC (Mobilité Des Individus Et Des Ménages Et Tarification Des Transports Individuels Et Collectifs), de laquelle nous présentons une analyse statistique puis économétrique, la calibration d'un modèle de simulation de la tarification en Île de France ainsi que son application et les résultats produits. Enfin, nous évoquerons l'accessibilité et les parties prenantes.

Ainsi, nous suivons le plan qui suit :

I. Rappel du contexte du Projet

II. Positionnement dans la Littérature Existante

III. L'enquête MIMETTIC : Mobilité des Individus et des Ménages Et Tarification des Transports Individuels et Collectifs

IV. Tarification du transport dans la région Ile-de-France

V. Choix des horaires de déplacements, structure urbaine et analyse géographique de l'acceptabilité

VI. Conclusions et perspectives

VII. Bibliographie

VIII. Annexes

III. Positionnement dans la Littérature Existante

A. Un court rappel de l'état de l'art

L'introduction d'un péage à Paris a fait l'objet de plusieurs études ces dernières années (Bureau et Glachant (2008), Glachant et Bureau (2006), Crozet el al. (2007)). Parmi celles-ci, l'utilisation d'un modèle dynamique de transport urbain (METROPOLIS) par de Palma et Lindsey (2006) a montré, au cours d'études préliminaires, que l'introduction du péage offrait un potentiel important de réduction du trafic, de gains environnementaux et de réduction de la congestion (voir aussi l'ouvrage de de Palma et Quinet, 2005). La mesure des effets de cette réduction de la congestion, ainsi que des effets directs de la tarification sur les comportements des usagers, doit cependant s'appuyer sur une estimation rigoureuse des préférences individuelles, telle l'approche proposée par de Palma et Picard (2005). Une mise à jour de ces paramètres structurels semble aujourd'hui nécessaire.

Le péage urbain, proposé dans plusieurs grandes villes, n'a été accepté que dans quelques-unes d'entre elles, notamment à Londres et à Stockholm. Les facteurs déterminants pour son acceptation ont été décrits dans plusieurs recherches mais n'ont pas encore fait l'objet d'études systématiques. Ainsi, de grandes incertitudes existent encore à ce jour sur la nature exacte du processus d'acceptation d'une tarification du transport urbain tant il peut différer d'une époque à l'autre, d'une région à l'autre, d'une population à l'autre, etc... Pour le cas de l'Île-de-France, nous restons persuadés de la nécessité de continuer à contribuer au corpus théorique par le truchement d'approches multidisciplinaires rigoureuses (microéconomie, économie politique, économie urbaine, économie des transports, sciences de l'ingénieur) ainsi qu'au corpus des applications, plus adaptées aux spécificités de la région. Par exemple, les simulations de politiques tarifaires à l'aide des modèles SILVERPOLIS et METROPOLIS pour la ville de Stockholm mettent en évidence les gains de bien-être liés à l'introduction de péages urbains (Engelson et al., 2012, dans le cadre du projet européen ERA-NET SURPRICE). L'analyse et la synthèse des résultats ainsi obtenus nous permettront de mieux maîtriser la mise en œuvre de telles politiques.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le projet « *Tarification des Transports Individuels et Collectifs en Île-de-France – Dynamique de l'Acceptabilité* ». C'est un projet de recherche étroitement lié à un autre projet dans son déroulement, « *Trajets et Mobilités des Ménages : Choix Individuels et Collectifs* » réalisé par l'Université de Cergy-Pontoise. Ils font l'objet d'une enquête commune que nous discuterons plus tard dans le présent rapport, située à la croisée des problématiques qu'ils développent. Tandis que le projet porté par l'Université de Cergy-Pontoise est consacré à la mobilité des ménages en Île-de-France ainsi qu'à la prise de décision au sein du couple dans le court et le long terme, le projet porté par l'ENS Cachan porte sur la tarification des transports publics et privés et leurs impacts à court terme. Ces deux projets ont nécessité la mise en place d'une enquête commune. Coté mobilité des ménages, l'accent est mis sur les choix de localisation résidentielle et professionnelle, les choix de motorisation du ménage et les choix horaires. La spécificité de la thématique « tarification » abordée au travers de cette enquête tient dans son analyse quantitative du processus d'acceptabilité. L'objectif est de proposer un ensemble d'outils quantitatifs et qualitatifs qui permettront de mieux évaluer les différents processus relatifs à l'introduction des principaux modes de tarification des transports urbains.

Nous apporterons des éléments de réponse relatifs à la perception de telles mesures et de leurs conséquences sur les décisions relatives aux mobilités à long et court termes des ménages et des

individus les constituant. Quelles en seront les conséquences sur les choix de localisation et d'équipement automobile ? Quelles en seront les conséquences sur les choix de modes de transport (selon différents motifs de déplacement) ? Quelles en seront les conséquences sur les choix horaires des déplacements ?

Les questionnements sur l'intérêt d'une régulation du trafic routier et l'incitation à l'usage d'autres modes de transport, notamment les transports collectifs urbains, ont émergé en Europe principalement pour des raisons relatives à la rémanence sinon l'accroissement des externalités négatives générées par le trafic routier en milieu urbain : pollution et congestion (étroitement liées), nuisances sonores. La capitale française ne déroge pas à ce principe. S'il est reconnu depuis longtemps que l'usage intensif du véhicule privé est source d'externalités négatives (Pigou, 1920, et Dupuit, 1849), notamment au travers de la congestion qu'il implique, c'est principalement dans un souci environnemental que la ville de Paris s'est penchée sur cette question et a exprimé dès 2001 son engagement dans la lutte contre l'utilisation massive du véhicule privé motorisé. Au niveau national et international, il est établi que la contribution du secteur des transports aux émissions de polluants et gaz à effets de serre (GES) est importante. A ce titre, l'engagement de l'Etat en 2003 (dit Facteur 4) réaffirme l'importance du protocole de Kyoto et fixe des objectifs ambitieux de diminution des émissions de GES. La transposition en droit de cet engagement à partir de 2007 (Grenelle de l'Environnement) donne la possibilité de tester la mise en place de politiques d'incitation à une mobilité plus respectueuse de l'environnement aux niveaux local et national, notamment dans un contexte d'urbanisation croissante.

De plus, les problèmes de congestion et de pollution ne se limitent pas au centre urbain mais concernent aujourd'hui l'ensemble de la région Île-de-France. A titre d'exemple, on recense en Île-de-France en moyenne entre 100 et 300 km de bouchons cumulés par jour[6]. La jonction entre les Autoroutes A4 et A86[7], sur un tronçon de 2 km, est tous les jours le théâtre d'une congestion accrue aux heures de pointe. Les embouteillages aux heures de pointes matinales sur cet axe sont considérés parmi les plus importants d'Europe. De façon plus générale, la congestion routière est récurrente sur de nombreux grands axes routiers malgré une incitation de plus en plus grande à l'usage de transports collectifs. Pour autant, cette congestion apparaît aussi dans ces derniers (aussi bien dans l'exploitation du réseau que dans la capacité de transport).

La question de l'introduction de mécanismes de tarification routière en Île-de-France a émergé depuis plusieurs années mais apparaît comme fortement impopulaire. Cette problématique se heurte parfois aussi à des contraintes juridiques dans les solutions envisagées (voir la revue Transports Public, 2007). Elle continue pourtant à être discutée et cherche à s'inspirer de l'analyse des expériences étrangères qui ont abouti soit à la mise en place d'un péage soit au refus de celui-ci. Quand bien même la théorie nous énonce que deux mesures sont possibles pour que les agents internalisent les effets externes qu'ils produisent en utilisant leur véhicule personnel, à savoir soit une restriction par les prix soit une restriction par les quantités, et quand bien même il est annoncé le transfert des ressources financières collectées à l'amélioration de la quantité et de la qualité des transports en commun (pour favoriser le report modal des usagers du véhicule privé vers des modes alternatifs) et des gains d'un point de vue environnemental, rares sont les expériences de péage

[6] www.sénat.fr, séance du 4 mai 2010.

[7] L'A4 est une autoroute à l'est de Paris (allant de Porte de Bercy à Strasbourg). L'A86 est une boucle autour de Paris située à une distance variant entre 2 et 7 km du périphérique).

urbain considérées *a priori* comme positives par les citoyens qui y seront confrontés. Bien que les problèmes de congestion et de pollution concernent toutes les grandes métropoles européennes, seules quelques grandes villes comme Londres, Milan ou Stockholm ont réussi à installer durablement différents types de péages urbains. Les adoptions successives de ces péages au cours des années 2000 et leur faible présence dans les villes européennes, méritent que l'on s'interroge sur l'acceptabilité d'une telle mesure. Il est de plus en plus urgent d'identifier les leviers de la promotion de telles actions politiques et d'évaluer leur incidence sur la population résidente francilienne.

Depuis plusieurs années, l'éventualité de la mise en place d'un péage urbain dans la capitale et son agglomération est discutée (Abraham et Bonnafous, 2000, Philip et Gauthier, 2003, Duprez et al., 2003, Poiblanc, 2004, Glachant et Bureau, 2004, de Palma et Quinet, 2005, Raux, 2007 pour des publications récentes). Bien que plus ancien, ce débat est apparu sur le devant de la scène politique en 2009 suite à un amendement au projet de loi du Grenelle de l'Environnement II qui permet l'expérimentation des péages urbains pour une durée de trois ans dans les agglomérations de plus de 300 000 habitants qui sont dotées d'un plan de déplacements urbains. C'est précisément le cas de Paris et de la région Île-de-France dont le plan de déplacement urbain intègre explicitement ce genre de solutions.

Quel type de péage mettre en place ? Où le localiser ? Quelle tarification adopter? Comment ce projet sera-t-il accueilli par les franciliens ? Avant de répondre à ces questions de manière strictement empirique, il nous semble utile de rappeler brièvement le corpus théorique sur cette problématique et présenter quelques avancées réalisées dans le cadre de ce projet.

En conservant la typologie présentée dans notre réponse à l'appel à proposition, l'acquis scientifique peut être subdivisé en cinq axes : la littérature sur les expériences étrangères, la théorie de la tarification du transport, la théorie issue de l'économie politique sur la problématique de la réforme, la théorie de l'acceptation et enfin les problèmes de modélisation du transport urbain.

1. Une brève revue des expériences de péage urbain

Les expériences européennes de péage urbain ont été étudiées récemment dans le cadre du PREDIT (Pons et al. (2009), Raux (2007)). Lindsey (2006), de Palma, Lindsey et Proost (2007), Anas et Lindsey (2011) et de Palma et al. (2011) offrent une revue préliminaire de la littérature récente concernant les expériences non européennes.

Plusieurs agglomérations ont tenté l'expérience du péage urbain. Depuis la fin du XXème siècle et le début de XXIème siècle, les péages urbains émergent au cœur des grandes villes et plus particulièrement en Europe (voir aussi Derycke, 1997).

C'est en 1975 que la première expérience de péage urbain a débuté à Singapour. Au début, Le système était géré manuellement. En 1998, un système de péage électronique a été mis en place. Actuellement, le péage concerne des zones autour du CBD (le centre d'affaires) et certaines routes rapides. Les prix sont modulés sur des intervalles de temps de 30 minutes et ce, dans l'objectif de maintenir une vitesse de 45-65 km/h sur les voies rapides et de 20-30 km/h sur les voies artérielles.

L'expérience londonienne est peut-être la plus connue en Europe. Ken Livingstone a gagné les élections municipales de 2000 en défendant le projet de péage qui sera mis en place lors de son premier mandat en février 2003 sous le nom de « London Congestion Charge ». Initialement, ce

péage a concerné une zone de 21km², sur une période de temps quotidienne s'étalant de 7h00 jusqu'à 18h30. Un certain nombre d'usagers payaient un tarif réduit ou étaient exemptés du paiement. Durant les premières années de sa mise en application, le péage de Londres a permis une augmentation de la vitesse moyenne au sein et aux pourtours de la zone concernée. Progressivement le niveau de congestion s'est cependant relevé pour atteindre les niveaux proches de ce qu'il atteignait avant l'introduction du péage. En 2005, le tarif a été augmenté, passant de £5 à £8. En février 2007, la zone de péage a été élargie à l'ouest, mais en novembre 2008, le nouveau maire Boris Johnson a annulé cette extension. Un certain nombre d'études ont cherché à évaluer l'impact du péage de Londres (Voir Bureau (2004), Mackie (2005), Prud'homme and Bocajero (2005), Santos and Fraser (2006), Quddus et al. (2007) and Santos (2008)). Les résultats divergent dans l'analyse des conséquences du péage mais tous semblent reconnaître des gains en termes d'accessibilité à la zone concernée.

A Stockholm, un schéma de tarification de la congestion a été introduit en 2006. Les véhicules entrants ou sortants du centre-ville payent un tarif variable sur trois périodes de la journée. En conséquence, le trafic routier sur le cordon de péage a diminué de 22%. Les temps de trajet aux heures de pointe ont diminué d'un tiers, les accidents ont diminué de 5 à 10%, les émissions ont chuté de 10 à 14% et l'usage du transport collectif a augmenté de 6%. En septembre 2006, un référendum a approuvé par une faible majorité le maintien du péage de manière permanente. Eliasson (2009) et Eliasson et al. (2009) évaluent les impacts de la mise en place de ce péage.

La Norvège est un cas particulier puisqu'elle a une tradition de financement des projets d'infrastructure routière à partir de péages routiers. A l'exception du péage de Stavanger, les prix des péages norvégiens ne varient pas en fonction du temps. D'autres villes ont mis en place de tels péage, la plupart du temps sous forme d'un cordon : Oslo, Bergen, Trondheim.

Ieromonachou (2006), Lian (2008) discutent de la pratique et des effets de ces mécanismes de tarification de la congestion urbaine.

Malgré des différences dans la mise en pratique, ces expériences peuvent être considérées comme des succès. Cela a conduit d'autres villes à envisager des politiques de tarifications adaptées à leurs préoccupations. Des réticences ont toutefois été soulevées. Ainsi, à Edimbourg, un référendum proposant l'instauration d'un système de péage a été rejeté par une large majorité. Un schéma de tarification à Manhattan a été finalement abandonné car l'Etat de New York a refusé son adoption. Un programme pour une tarification de zone en Californie a évolué, face à l'opposition, vers une tarification du parking. Ces échecs montrent à quel point il est difficile de passer à une mise en pratique d'un système de péage même lorsque la volonté politique est présente.

En 2001, la ville de Paris se différencie des autres villes européennes dans sa lutte contre la congestion routière. Une réduction de l'espace viaire disponible pour les automobilistes a été préférée à la restriction par les prix. Si cette politique peine à remplir son rôle en matière de réduction de la congestion (entre 2001 et 2008 le nombre de véhicules-kilomètres dans Paris intra muros entre 7h et 21h est passé de 2 082 à 1 643, correspondant à une réduction de 21%, cependant la vitesse moyenne dans Paris intra-muros demeure très faible, de l'ordre de 16 km/h en 2008, une valeur comparable à la vitesse de circulation de 2001, cf. *bilan des déplacements* 2008[8]), elle ne

[8] Le bilan des déplacements, *RATP*, 2008.

semble pas non plus avoir d'effet positif réel sur la réduction des émissions polluantes. Pour un véhicule automobile léger la courbe d'émission de polluants par rapport à la vitesse de circulation a une forme en "U"[9]. A la vitesse de 16km/h, un véhicule léger émet au kilomètre 0.9 g de Nox (dont le NO2), 275g de C02 (principal gaz à effet de serre émis par le transport routier) et 0.06g de particules (PM 10 et PM25)[10].

Les politiques de lutte contre l'utilisation massive du véhicule privé restent des outils devant être manipulés avec précaution par les élus. Les maires de Londres et Paris ont faits de leurs projets de limite de circulation automobile dans leurs centres des éléments clés de leurs campagnes électorales. L'aspect politique, et la recherche du soutien électoral permettent, dans une certaine mesure, d'expliquer pourquoi à Paris, c'est la restriction par les quantités (couloirs de bus, fin de l'enchaînement de la coordination des feux tricolores…) qui a été préférée à un péage (trop peu populaire). Comme nous l'avons déjà écrit, plusieurs études (de Palma et Quinet 2005, de Palma et Lindsey 2006) montrent que la mise en place de péage urbain réduit pourtant considérablement les externalités liées au trafic routier. L'intérêt n'est donc plus seulement de montrer les effets liés à l'instauration d'un péage en termes de prévision de trafic routier et de report modal, mais d'étudier la dimension de l'acceptabilité d'une telle mesure. Bien entendu, cette analyse doit être différenciée selon différents scénarios de péage urbains : cordons routiers, péage concentrique, tarification du stationnement.

2. La théorie de la tarification des transports

Les approches associées sont bien établies dans la science économique et auprès des spécialistes du transport. L'application de la tarification des transports soulève toutefois de nouvelles problématiques de recherche.

C'est avec Pigou (1920) que naît la première théorie économique de la tarification. Il a fallu attendre des dizaines d'années avant de voir se réaliser la première expérience réelle de péage. Le contexte a évolué ces dernières années. Désormais, des ingénieurs de travaux publics, des informaticiens, des géographes, des scientifiques issus de multiples disciplines collaborent avec des économistes pour proposer des solutions pratiques.

L'usage de véhicules est source de multiples externalités. Les plus importantes sont la congestion, les émissions polluantes et l'insécurité routière. La littérature sur le calcul de tarification de la congestion a évolué à partir d'analyses sur des réseaux très simplifiés et isolés vers les réseaux de grandes dimensions, avec différents types d'usagers ayant des valeurs de temps et des élasticités de la demande différentes. Un intérêt particulier a été accordé aux politiques de second rang étant donné les contraintes rencontrées au niveau du nombre de liens à tarifier (Small et Verhoef, 2007).

Un péage routier a deux fonctions fondamentales : d'abord, son action correspond à une taxe Pigouvienne internalisant les coûts externes, ensuite il s'agit d'un outil qui permet de générer des

[9] Cf. *http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/dtrf/pdf/pj/Dtrf/0005/Dtrf-0005666/DT5666.pdf*

[10] Pour l'oxyde d'azote (NOx), l'émission en fonction de la vitesse est minimal pour une vitesse de 70km/h et maximal pour les vitesses très basses et très élevées.
http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/dtrf/pdf/pj/Dtrf/0005/Dtrf-0005666/DT5666.pdf.
Les courbes d'émission des trois composantes de la pollution routière, pour les véhicules légers en fonction de la vitesse de circulation sont en annexes du document.

revenus. Mis à part le rôle de court terme consistant à ajuster le comportement des usagers, la tarification des transports joue aussi un rôle d'indicateur de long terme : des tarifs élevés pointent vers une nécessité d'augmenter la capacité du réseau (ou du moins celle d'autres réseaux) ; suite à la demande latente ainsi identifiée, les nouvelles infrastructures ne courront pas le risque d'être sous-utilisées.

Les taxes sur le carburant peuvent être efficaces pour réduire les émissions de gaz à effet de serre puisque ces émissions sont proportionnelles aux véhicules-kilomètres. Toutefois, ces taxes ne sont pas pleinement efficaces pour internaliser la pollution locale étant donné que celle-ci dépend de la population exposée, elle-même variable selon la densité urbaine.

En ce qui concerne les transports en commun, le premier modèle intégrant les coûts externes a été développé par Mohring (1972). Ce modèle prend en compte le retard imposé par un passager supplémentaire. Mohring montre que, dans ce cas, le nombre optimal de bus desservant la station est proportionnel à la racine carrée du nombre de passagers, c'est-à-dire à la demande de transport. Cette relation est connue sous le nom d'effet Mohring ou « Mohring's square root rule ». Ce nombre est optimal dans la mesure où il réduit le coût généralisé du transport. Kraus (1991) introduit un deuxième type de coût externe : la gêne occasionnée par un usager supplémentaire. Il montre que la relation de Mohring n'est alors plus vérifiée. Récemment, un modèle avec une capacité limitée des véhicules de transport en commun a été proposé par Tian et al. (2007). Dans un contexte d'incitation à l'usage des transports en commun par le plus grand nombre possible d'individus, de tels problème peuvent rapidement émerger et être pris en compte dans le processus d'acceptation par les individus de politique de péages urbains. Les conséquences anticipées du report modal sur la fiabilité de l'offre de transport en commun et la congestion (saturation des capacités), i.e. la qualité de service, ne peuvent être niées dans le mécanisme d'introduction d'un péage urbain.

3. Réforme et acceptation

Au cours des 20 dernières années, une théorie économique de la réforme a été développée suite aux transformations institutionnelles subies par les pays de l'ancien bloc communiste. Les pays de l'Europe orientale ainsi que la Chine et la Russie faisaient face à des problèmes importants de réformes. La plupart d'entre elles étaient globalement bénéfiques, mais ces pays ne pouvaient garantir à priori un résultat positif à la majorité des usagers. Cette théorie, exposée dans Roland (2000), a surtout été appliquée à des problèmes macro-économiques et de libre-échange. Sa transposition aux grandes réformes de tarification des transports présente un intérêt certain. En effet, l'introduction d'un péage conduit à un gain positif certain pour une minorité, et un gain incertain pour une majorité. De plus, une fraction significative des usagers n'estime pas correctement la profitabilité potentielle du système proposé.

Berthet et Servant (1999), Servant (2008), Crozet et Glachant (2007), Raux et Souche (2004) se sont penchés sur l'analyse de l'acceptabilité de la mise en place de péages urbains. Certains auteurs européens ont aussi développé des théories de l'acceptation individuelle basée sur une approche psychologique. Ainsi, Schade et Schlag (2003), Schade et Baum (2007), ont développé des théories dans ce sens.

Le fait de générer un surplus collectif positif n'est pas une condition suffisante pour l'acceptation d'une réforme. Cet argument a donné lieu au développement d'une théorie de la réforme. Une bonne base de départ est le modèle de Fernandez et Rodrik (1991), reformulé par Jain et Mukand

(2003). Ce modèle traite d'une réforme où il serait bénéfique qu'une partie de la population change d'emploi (ici change de mode de transport) : d'un secteur traditionnel mais subventionné (ici voiture) vers un autre secteur plus productif (ici transport public ou voiture hors des heures de pointe). Les agents économiques qui doivent changer d'emploi ne connaissent cependant pas leur coût individuel d'adaptation au nouveau secteur (ici les autres modes de transport). L'utilité des agents qui ne changent pas de secteur dépend de leur productivité mais aussi des subventions qui leur seront redistribuées par le système politique. L'utilité des agents qui changent de secteur dépend des coûts d'ajustement, de la productivité dans le nouveau secteur ainsi que des taxes et subventions imposés par le système politique. Une telle structure permet d'expliquer le statu quo et la non-réalisation de réformes pour lesquelles il y aurait cependant une majorité de citoyens potentiellement bénéficiaires.

Considérons par exemple la situation suivante. Soit une réforme donnée et distinguons les deux situations, *ex ante* (avant la réforme) et *ex post* (après la réforme). Supposons qu'*ex ante*, 40 % des citoyens sont convaincus d'en tirer profit et que 60% d'entre eux pensent qu'ils vont y perdre. Cependant, 60% des citoyens seront bénéficiaires *ex post* (40% plus 1/3 des 60% qui perdent ex ante). Dans ce cas, on obtient la situation paradoxale où une majorité de citoyens s'oppose à la mise en place de la réforme pourtant potentiellement bénéfique pour une majorité d'entre eux. C'est ce qui peut expliquer que certaines réformes bénéfiques ne sont ni acceptées ni même proposées.

A cette simple structure, nous pouvons encore ajouter deux autres facteurs d'acceptabilité : le mécanisme de redistribution politique et les opinions des agents quant à la pérennité d'une réforme. Le mécanisme de redistribution (ici l'affectation des recettes d'un péage) peut expliquer qu'il n'y ait que deux types de réformes susceptibles d'obtenir une majorité. La première est une réforme dite «supermajoritaire» ou une grande majorité des agents investissent dans le changement. La deuxième est une réforme où seulement une minorité investit dans le changement. Dans le premier cas, ceux qui vont changer de secteur formeront la majorité et contrôleront le mécanisme de redistribution politique. Dans le deuxième cas, la majorité initiale gardera le contrôle du mécanisme de redistribution politique. La croyance en la pérennité du changement est le deuxième facteur à considérer. Si les agents devant investir dans une réforme ne sont pas convaincus de sa poursuite alors ils n'investiront pas dans ce changement et la réforme n'aura pas l'impact souhaité. Il s'agit ici d'un problème bien connu en politique macro-économique et monétaire (Kydland et Prescott, 1977).

4. Les problèmes de la modélisation du transport urbain

Les effets d'une introduction d'un péage routier urbain dépendent de la réaction des utilisateurs des réseaux de transport privés et publics. Une acceptation à priori ne peut se faire que sur la base d'un calcul préalable, se basant sur un modèle d'évaluation. Le degré de précision de ces modèles et la confiance des acteurs dans les outils de modélisation sont autant de facteurs décisifs pour la réussite d'un tel projet. Par ailleurs, il est à noter que les modèles avec lesquels cette problématique a été étudiée sont bien différents les uns des autres. Certaines approches reposent sur de simples schémas de calcul, comme par exemple le modèle de Prud'homme et Bocarejo (2005). D'autres approches, tel le modèle METROPOLIS, tiennent compte de l'aspect dynamique dans la prise de décision des usagers. Récemment des modèles de micro-simulation ont été proposés pour l'étude des réformes de programmes publics en général, et des taxes en particulier (voir, par exemple, Gravel, Hagneré et Picard, (2004) ou Gravel, Hagneré, Picard et Trannoy, (2001)). Ces modèles sont aussi potentiellement très utiles pour l'étude d'une réforme de la tarification des transports publics.

La littérature scientifique relative à la tarification en Île-de-France reste limitée. Marin (2003) a effectué des simulations relatives à un réseau géré par un opérateur privé. En pratique, au début un péage fixe est appliqué à quelques liens, ensuite la tarification devient modulée en fonction du temps pour couvrir à la fin tout le réseau. Les simulations ont été réalisées via l'utilisation du simulateur dynamique METROPOLIS, en tenant compte de l'heure de pointe du matin.

Récemment, des projets menés dans le cadre du PREDIT 3 ont ciblé les problématiques du péage urbain. Ces travaux sont d'une grande utilité pour ce projet étant donné qu'ils concernent directement (en majorité) la région Île-de-France :

- « Evaluation client des innovations tarifaires en milieu urbain et validation par les réseaux », réalisé par Pierre Hanrot, PREDIT 1996-2000
- « Le péage de Congestion dans le Centre de Londres : Un essai d'évaluation », Remy Prud'homme et Juan Pablo Bocarejo, 2005. OEIL, Observatoire de l'Economie et des Institutions Locales (en collaboration avec PREDIT).
- « Le partenariat entre les collectivités territoriales et les entreprises dans les politiques publiques de déplacements vers le travail », CREDOC, Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie, 2005.
- « Intégration d'un modèle de transport et de choix d'occupation des sols ; Application au tramway T3 », D. Nguyen-Luong (IAURIF/THEMA), PREDIT 3.
- « Développement urbain fractal sous contraintes d'accessibilités », P. Frankhauser et al.
- « Etat et secteur privé dans la modélisation des déplacements urbains en France, 1960 - 2005», K. Chatzis (LATTS/INRETS)
- « Réseaux routiers et trafic en Ile-de-France », A. Dupont-Kieffer (INRETS)
- « Attitudes et comportements des automobilistes face à un rationnement du carbone », Charles Raux (LET)
- « Entre les échelles locale et communautaire : vers un gouvernement multiniveaux des politiques de transports urbains ? », Geraldine PFLIEGER (EPFL)

La mise en place d'un péage incitant au report modal, il est aussi primordial d'étudier les incidences sur la demande de transports collectifs urbains et leur saturation potentielle.

A plus long terme, de telles politiques tarifaires ont des incidences aussi bien sur les choix de localisation des ménages et des emplois que sur les choix d'équipement individuels et les choix logistiques des entreprises. Dans le présent projet, nous ne traitons pas de ces sujets. Il reste cependant primordial d'être à même de mesurer l'ampleur des réactions individuelles en ce qui concerne les choix de transport à court terme. Par « mesurer », nous entendons pouvoir étudier à la fois les sensibilités à un niveau désagrégé et la simulation des conséquences au niveau de la population considérée dans son ensemble. Il convient pour cela de :

- continuer à contribuer au corpus théorique
- mettre à jour un certains nombre de paramètres structurels (e.g. distributions des valeurs du temps, des coûts de déshorage, des primes de risque de perte en temps, du confort dans les transports en commun) de manière à calibrer nos modèles d'évaluation le plus finement possible

- se servir de ces estimations dans le contexte de modèle de simulation et d'évaluation de politiques de transport

B. Nouvelles contributions au corpus théorique

Neuf contributions au corpus théorique ont été réalisées dans le cadre du présent projet. La majorité des contributions a fait l'objet de publications dans des revues internationales avec comité de lecture. A notre sens, elles contribuent à une meilleure compréhension des problèmes étudiés dans ce projet et consolident les bases de nos travaux empiriques associés. L'objectif de ce projet est de développer un ensemble de modèles permettant de mieux comprendre les enjeux et les difficultés liées à l'introduction de systèmes de tarification des réseaux de transport en milieu urbain, en particulier le réseau routier. A ce titre, nous portons la focale sur les thématiques liées à la tarification publique et privée sur réseau simplifié et sur la réforme et l'acceptabilité de ces mécanismes. Nous rappelons ci-dessous les principaux résultats des différents documents de travail. Les documents présentés ci-dessous sont repris en intégralité dans les annexes.

1. Méthodes et Technologies de Tarification de la Congestion Routière

Traffic Congestion Pricing Methods and Technologies - André de Palma et Robin Lindsey, 2011, Transportation Research part C[11]

Cet article examine les méthodes et technologies afférentes à la tarification de la congestion routière. Les péages peuvent être mis en place à différentes échelles, que cela concerne une simple voie réservée ou bien un réseau national tout entier. Les péages peuvent être différenciés par heure de la journée, par type de route, selon les caractéristiques des véhicules, voire même être établis selon les conditions de trafic à un moment donné. Les principales technologies sous-jacentes à la mise en œuvre de ces péages peuvent être des appareils photographiques disposés sur les bas-côtés des routes, des caméras digitales, des balises, l'identification de plaques d'immatriculation, ainsi que des systèmes embarqués permettant la reconnaissance des véhicules et reposant sur les systèmes satellitaires ou de téléphonie sans fil. Le choix de l'une d'entre elles en particulier dépend étroitement du type de tarification routière souhaité. D'autre part, la vitesse à laquelle un système de tarification de la congestion est mis en œuvre ainsi que son objectif à long terme dépendent aussi du type de technologie souhaité et de ce qu'elle permet. Dans la mesure où la tarification de la congestion doit reposer sur la possibilité de différencier le mieux possible les différents états de l'infrastructure concernée et les usagers, il est fort probable que ce soit le choix du type de tarification qui détermine dans un premier temps la technologie à utiliser. Nous étudions ces phénomènes de circularité entre technologies et types de tarification routière.

2. Congestion dans une Ville avec un Goulet d'Etranglement Central

Congestion in a City with a Central Bottleneck - Mogens Fosgerau et André de Palma, 2011, Journal of Urban Economics[12]

Les auteurs considèrent dans cet article le problème de la dynamique de la congestion urbaine lorsque l'origine des trajets est spatialement distribuée. Il est supposé que tous les voyageurs doivent passer par un goulet d'étranglement pour atteindre leur destination au centre de la ville. Chaque voyageur choisit son horaire de départ de manière à maximiser une fonction d'utilité concave représentant ses préférences horaires. A l'équilibre, les voyageurs s'ordonnent selon leur distance à

[11] de Palma, A. et R. Lindsey, (2009). Traffic congestion pricing methods and technologies, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19, pp. 1377-1399. h

[12] Fosgerau, M. et A. de Palma, (2011). Congestion in a city with a central bottleneck. Journal of Urban Economics 71, pp. 269-277. http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:45005/datastreams/file_6668005/content

la destination. Ils proposent aussi un système de tarification routière qui élimine la congestion sous contrainte de maximiser le bien-être de la population considérée. Le principe est le suivant : tous les voyageurs dont l'origine est au-delà d'une certaine distance seuil à la destination bénéficie d'un gain lié au système de tarification et ce même si les revenus ne sont pas redistribués. Les autres voyageurs sont perdants mais l'effet net sur la population totale est positif. Les auteurs discutent l'acceptabilité d'un tel régime de tarification routière.

3. La Localisation et la Tarification des Stations de Transport en Commun

The Location and Pricing of Mass Transit Stations - André de Palma, Moez Kilani et Stef Proost, 2010, Document de recherche[13]

Les auteurs développent dans cet article un modèle analytique concernant la localisation optimale d'une ou plusieurs stations de transports en commun ainsi que la tarification du réseau conséquente dans le cadre d'une ville monocentrique. Ils comparent les résultats obtenus selon que l'offre soit établie par une agence publique, un monopole privé, ou encore un duopole. Dans ce dernier cas, les auteurs s'intéressent à la concurrence en localisation et en prix pour une seule station. Des résultats analytiques et numériques sont proposés pour différentes distributions de la densité résidentielle.

4. Réduire les Externalités du Transport Routier Urbain : Tarification Routière en Théorie et en Pratique

Reducing Urban Road Transportation Externalities: Road Pricing in Theory and in Practice - Alex Anas et Robin Lindsey, 2011, Review of Environmental Economics and Policy [14]

Cette revue de la littérature s'intéresse aux externalités du transport routier en milieu urbain, les plus importantes d'entre elles étant la congestion (augmentation des durées et des coûts d'usage), les accidents, la pollution et les émissions de gaz à effet de serre. Dans cette article, quatre aspects du recours à la tarification routière, dans le but de réduire ces externalités sont discutés : (i) les bénéfices sont supérieurs aux coûts ; (ii) les bénéfices liés à une diminution de la congestion sont supérieurs aux bénéfices liés à l'amélioration de la qualité de l'environnement ; (iii) le succès d'une politique de tarification routière dépend en partie de la présence de transports en commun et du niveau de l'offre associée ; (iv) les effets redistributifs et l'acceptabilité de politiques de tarification routière posent d'importants défis quant à la définition de leurs mise en œuvre.

[13] de Palma, A., M. Kilani et S. Proost, (2011). The Location and Pricing of Mass Transit Stations. http://intranet.imet.gr/Portals/0/UsefulDocuments/documents/01750.pdf

[14] Anas, A. et R. Lindsey, (2011). Reducing urban road transportation externalities: Road pricing in theory and in practice. Review of Environmental Economics and Policy. https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxhbGV4YW5hc2hvbWVwYWdlfGd4OjQ0MDVmMjY0MTkzYWJhODU

5. Comment un Couloir à Grande Vitesse peut-il remplacer un Péage de Congestion ?

How a Fast Lane may replace a Congestion Toll? - Mogens Fosgerau, 2011, Transportation Research Part B [15]

Cet article s'intéresse à une solution de tarification routière pour la régulation de la congestion dans un goulet d'étranglement. Supposons que soit établie une voie réservée qui offre une capacité plus que proportionnelle aux besoins d'une sous-population spécifique de voyageurs. Sans schéma de réservation pour cette population, tous les voyageurs pourraient utiliser cette voie d'accès rapide et le caractère privatif n'apporterait aucun intérêt. Dans le cas contraire, le modèle développé montre qu'un tel système de discrimination est Pareto optimal à l'équilibre de Nash concernant les horaires d'arrivée à l'entrée du goulet d'étranglement et lorsque la demande est inélastique. Ce système reproduit les mêmes résultats en termes d'horaire d'arrivée et de formation d'une file d'attente que celui d'un péage additionnel et constant durant la période de pointe. Lorsque la demande est élastique, le système de voie réservée reste toujours Pareto optimal sous des conditions plus restrictives.

6. Un modèle d'Economie Politique de Tarification Routière

A Political Economy Model of Road Pricing - Bruno De Börger et Stef Proost, 2011, Journal of Urban Economics [16]

Les auteurs développent un modèle de vote à majorité simple pour l'analyse de l'introduction de systèmes de péages urbains en vue de réduire la congestion routière. Leur approche considère deux modes de déplacement : voiture ou transports en commun. Elle considère aussi l'existence d'incertitude concernant les coûts liés au changement de mode de transport et concernant l'utilisation des revenus générés par le péage urbain. Ils obtiennent les résultats suivants. Premièrement, la présence d'incertitude réduit le nombre de vote en faveur d'un système de tarification de la congestion avant sa mise en œuvre. Il y a une majorité de votes contre le système ex ante quand bien même il pourrait y avoir une majorité de votes en faveur après l'introduction du système. Deuxièmement, la présence d'incertitude implique, à partir du moment où il y a une majorité contre l'introduction d'un système de péage, qu'il n'y aura pas non plus de majorité en faveur d'une expérimentation temporaire d'un tel système permettant dès lors de faire disparaître l'incertitude. Troisièmement, nous montrons qu'il y a moins d'opposants à un projet de péage urbain lorsque les revenus générés sont utilisés pour subventionner l'offre de transports en commun. Finalement, la composition d'une population majoritaire de votants en faveur de l'introduction d'un système de tarification de la congestion et l'utilisation des revenus générés n'est pas aisée. Elle dépend des sous populations utilisant chaque mode de transport existants, incluant les individus se déplaçant en dehors des heures de pointe. Ces résultats sont cohérents avec de récentes observations empiriques concernant les difficultés et les réticences liées à l'introduction de systèmes de péages urbains.

[15] Fosgerau, M., (2011). How a fast lane may replace a congestion toll. Transportation Research Part B, Vol. 45 (6), pp. 845-851. http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:85857/datastreams/file_5505566/content

[16] De Börger, B. et S. Proost, (2011). A Political Economy Model of Road Pricing, Journal of urban economics, 71:1, pp. 79-92. http://ir.anet.ua.ac.be/irua/handle/10067/941940151162165141

7. Tarification de Cordon dans une Ville Monocentrique : Théorie et Application à la Région de Paris

Cordon Pricing in a Monocentric City : Theory and Application to Paris Region - André de Palma, Moez Kilani, Michel de Lara et Serge Piperno, 2011, Recherches Economiques de Louvain[17]

Cet article quantifie l'impact d'un second péage cordon sur l'Île-de-France. L'effet intuitif aux fondements de cette politique est d'une part de laisser un premier péage cordon réduire le rayon de la ville et d'autre part mettre en place un second péage cordon qui concentrerait les ménages au plus près du centre de l'agglomération. En effet, ces deux aspects sont les conséquences voulues d'une tarification optimale.

La présence d'un unique péage réduirait le rayon de la ville de 23%. Cette diminution serait de l'ordre de 30% avec l'introduction d'un second péage cordon. Le surplus social augmenterait de 63% à 73% avec le second cordon. Son impact est toutefois plus petit sur la congestion et les distances parcourues, une réduction de 3% étant obtenue pour ces deux indicateurs. Rappelons qu'une cité dense est caractérisée par une plus haute efficacité énergétique, de plus bas niveaux d'émission de gaz à effet de serre et nécessite moins d'investissement. Contrairement à nombre d'articles focalisés sur le court terme et n'abordant pas la relocalisation des ménages suite à une modification des coûts de transport, celui-ci étudie l'impact de long terme.

Sur le plan du vote d'acceptation du péage, l'implémentation d'un second péage cordon fait face à la même opposition que celle du premier cordon. Si un premier péage est déjà installé et si le gouvernement souhaite mettre en place un second péage cordon, des usagers y seront opposés mais d'autres y seront favorables car ils paieraient moins dans le cadre de cette politique. La Figure 2 montre les niveaux de péage selon la localisation des ménages. La ligne continue correspond à un double péage, la ligne pointillée à un seul. Les nombres en pourcentage indiquent la proportion de ménages vivant à cet intervalle du centre. L'impact du second péage est donné à l'intérieur des cercles. Le second cordon est rejeté par les ménages vivant à une distance de 14 à 22 kilomètres du centre, et par ceux habitant à plus de 31 kilomètres du centre. Ainsi, 46% de la population voterait contre ce péage. Les ménages localisés à une distance du centre de 22 à 31 kilomètres paieraient le péage mais y seraient favorables, soit 16% de la population. Les ménages vivant à moins de 14 kilomètres du péage sont indifférents à la mise en plage du péage (37% de la population. Remarquons que le premier péage serait rejeté par 32% de la population. Le second cordon a donc un bénéfice marginal plus faible et est plus impopulaire. Cependant, la plupart des usagers (83%) paieraient seulement 13€ ou moins alors que dans la situation d'un unique péage, 32% des usagers paient 22€.

[17] de Palma, A., Kilani, M., Lara, M., & Piperno, S. (2011). Cordon pricing in the monocentric city: theory and application to Paris region. *Recherches Economiques de Louvain , 77* (2), 105-124.

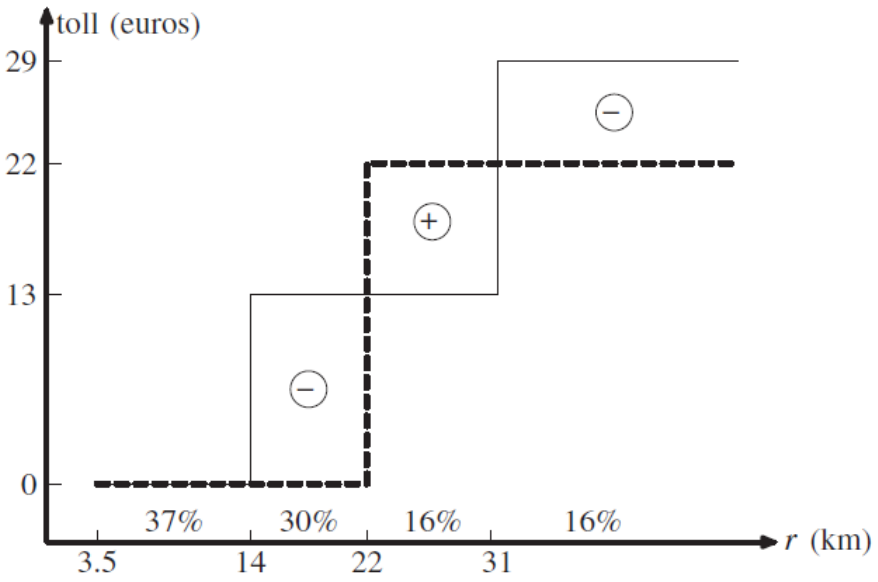

Figure 2 : Vote des ménages pour un péage à deux cordons en fonction de la distance au centre (source : de Palma et al., 2011)

8. Tarification de Congestion et Forme Urbaine de Long Terme : Application à la Région de Paris

Congestion pricing and long term urban form : Application to Paris Region - André de Palma, Moez Kilani, Michel de Lara et Serge Piperno , 2012, Document de recherche[18]

Cet article propose un algorithme efficace qui résout un équilibre urbain avec congestion. La procédure proposée est fondée sur le modèle monocentrique, mais les auteurs montrent qu'il peut être utilisé même dans les situations où l'on peut constater la présence de plusieurs centres. Une étude de cas est produite pour la région de Paris, et l'impact de la tarification routière sur la forme urbaine y est discuté. Parmi l'ensemble des schémas de tarification proposé, les auteurs considèrent le péage linéaire (proportionnel à la distance parcourue) et le péage cordon (un péage payé une fois que le conducteur a franchi une frontière donnée). Les deux systèmes sont comparés à la situation sans péage (autrement dit actuelle), et à la situation optimale dans laquelle les coûts totaux dans la ville sont minimisés. Le péage linéaire est équivalent à une augmentation du coût d'utilisation du véhicule. Ce péage est efficace et respecte la solution de premier rang. Cependant, le fait qu'il soit appliqué de manière identique à chacun des trajets le rend inapplicable en pratique. En comparaison avec la situation sans péage, la tarification optimale de la congestion réduit le rayon de la ville, la moyenne des distances parcourues et des temps de trajet respectivement de 34%, 15% et 13%. De plus, elle permet une réduction des émissions de CO2 de l'ordre de 15%. L'originalité de ce travail réside dans l'introduction de plusieurs centres secondaires, tels Cergy-Pontoise ou Roissy, qui suscitent eux aussi chaque jour un nombre important de déplacements.

La figure synthétise les principaux résultats de l'étude concernant l'impact de la tarification de la congestion sur la distribution des ménages dans l'espace. Chaque courbe reflète cette distribution sous l'influence d'un régime donné : tarification de premier rang (*first-best*), péage de zone (*linear*

[18] Document de recherche
http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/34/84/39/PDF/2008-14_cahier_de_recherche.pdf

toll), péage cordon (*cordon toll*) et absence de péage (*no toll*). Il apparait assez clairement que la tarification routière suscitera un phénomène de reconcentration urbaine, puisque l'on voit que l'introduction de péage correspond à une augmentation des densités de population dans les zones les plus proches du centre, et à une diminution de ces densités dans les zones les plus éloignées. Dans le cas d'une ville monocentrique, la congestion est la plus haute autour du centre de la ville (*CBD - Central Business District*) et la particularité du péage linéaire émerge. Ainsi, comme le montre la Figure 4, l'impact du péage linéaire de premier rang et du péage linéaire est similaire aux bordures extérieures de la ville, mais devient distinct autour du centre. Les auteurs montrent que le péage cordon, même s'il est moins efficace que le péage linéaire, atteint tout de même un niveau d'efficacité de 62% par rapport à la solution de premier rang.

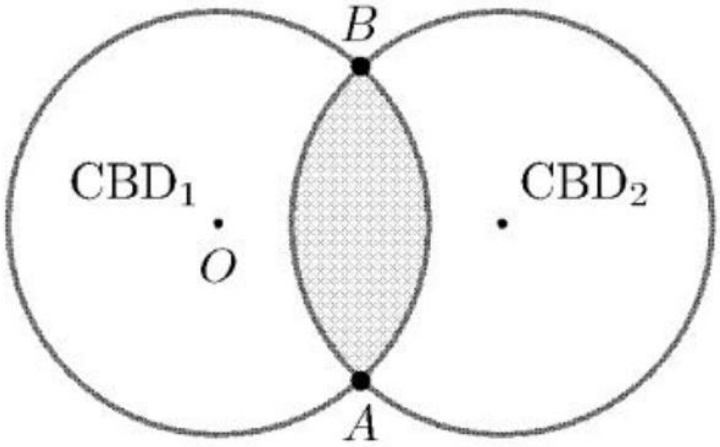

Figure 3 : Structure monocentrique avec deux centres

D'après leurs simulations, il apparaît que la forme urbaine optimale est caractérisée à la fois par un rayon de la ville plus petit et une plus haute concentration des ménages autour du centre. Le péage linéaire est plus efficace pour réduire le rayon de la ville que pour augmenter les densités aux alentours du centre. Un péage cordon proche du centre n'a pas d'impact significatif sur le rayon de la ville, alors qu'un péage cordon éloigné du centre conduit à une réduction nette du rayon de la ville mais n'influence guère les densités de populations proches du centre.

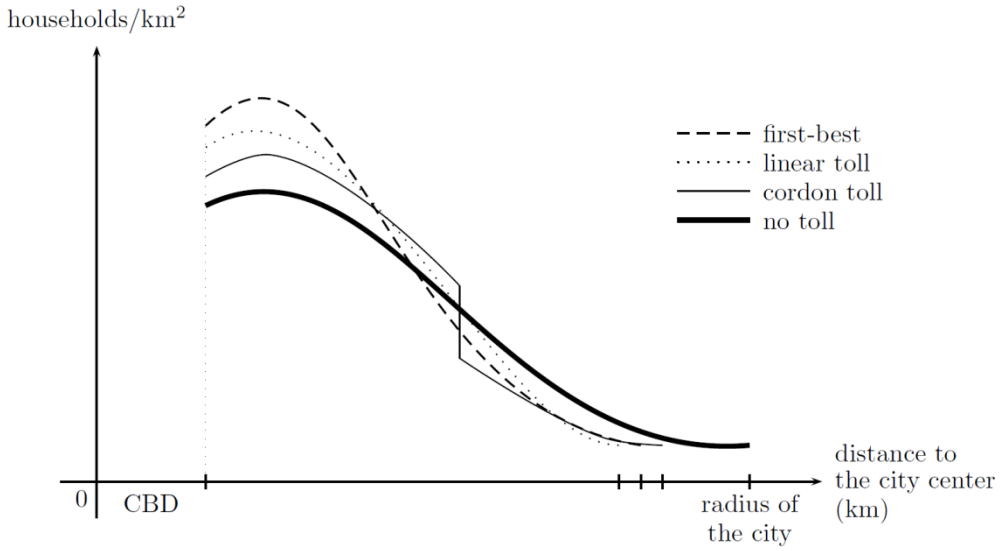

Figure 4 : Impact de la tarification de la congestion – densités des ménages en fonction de la distance au centre (source : de Palma et al., 2012)

9. Compétitions Multi-joueurs, Multi-gains et imparfaitement discriminée

Multi-Player, Multi-Prize, Imperfectly Discriminating Contests – André de Palma et Soumyanetra Munshi, 2012, Document de recherche[19]

Cet article rend compte d'un modèle de congestion fondé sur la théorie des jeux. Il modélise les probabilités de succès dans un jeu caractérisé par une discrimination imparfaite, en l'occurrence l'accès à des places assises dans des transports en commun, et impliquant de multiples joueurs, les voyageurs, et de multiples gains, comme le fait d'être debout ou assis, ou de pouvoir entrer ou pas dans le véhicule. Ce jeu se révèle être une généralisation de la fonction de réussite d'un jeu de Tullock à une situation avec plusieurs joueurs et plusieurs gains. Le modèle peut être utilisé pour analyser les efforts entrepris par les individus d'autres situations de la vie réelle que les transports en commun, par exemple l'admission dans un institut universitaire prestigieux. Les auteurs proposent donc un modèle probabiliste et dérivent l'équilibre des efforts exercés. Lorsque le coût de l'effort est le même pour tous les voyageurs, un équilibre de Nash existe, dans lequel tous les voyageurs exercent le même niveau d'effort pour accéder aux places assises disponibles. Dans un premier temps ce niveau d'effort augmente puis il diminue avec la congestion (Figure 5). Lorsque le voyageur se rend compte qu'il y a un niveau de congestion grandissant mais qui reste peu élevé (nombre de voyageurs inférieur au double du nombre de sièges du véhicules), il élève son niveau d'effort afin d'augmenter ses chances d'accéder à un siège. Lorsque le nombre de voyageurs dépasse le double du nombre de places assises, ce niveau d'effort diminue. Cela correspond à un découragement du voyageur, qui pense que le niveau d'effort fourni n'a que peu d'influence sur les probabilités d'obtenir une place assise. Le coût total est une fonction croissante de la congestion. Les auteurs étendent ensuite ce modèle à deux puis une multitude de biens, qui peuvent caractériser différentes situations rencontrées dans les transports en commun (position assise/debout, proche de la porte, accès à une barre de maintien...). Lorsque le coût de l'effort est symétrique, il est possible de trouver niveau d'équilibre de l'effort consenti. Lorsque deux biens de qualité différente sont introduits dans

[19] Document de recherche, http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/68/36/88/PDF/de_palma_munshi_mar8_2012.pdf

le jeu, les auteurs montrent que le niveau d'effort consenti est fait pour s'approprier le bien de qualité supérieure, qui est dans ce cas l'accès à une place assise.

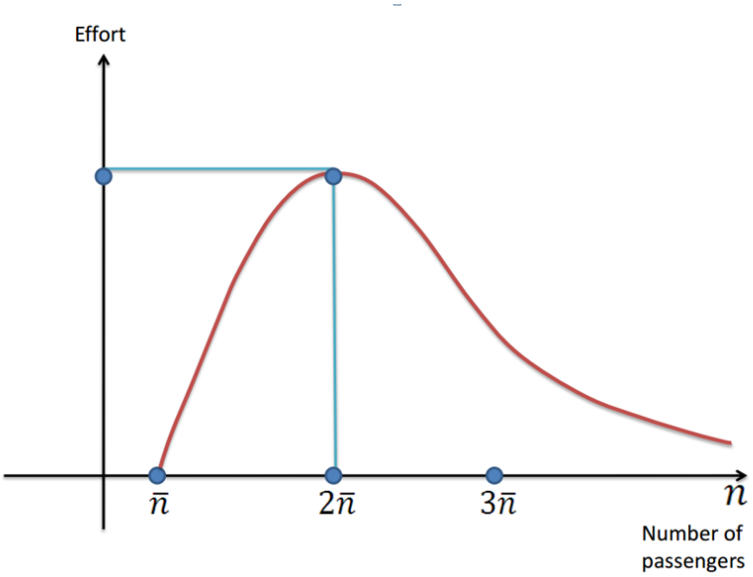

Figure 5 : Variation du niveau d'effort en fonction du nombre de passager (source : de Palma et Munshi, 2012)

IV. L'enquête MIMETTIC : Mobilité des Individus et des Ménages Et Tarification des Transports Individuels et Collectifs

L'enquête MIMeTTIC regroupe plusieurs thèmes : la tarification des transports privés et collectifs en Île-de-France et leur acceptabilité, les mobilités des ménages et des individus qui les composent à court et long termes. Elle est élaborée conjointement par les équipes de recherche de l'ENS de Cachan et du laboratoire Thema de l'ENS de l'Université de Cergy-Pontoise. Elle est le fruit de deux financements différents accordés dans le cadre du PREDIT par la DRI et l'ADEME. L'architecture de l'enquête est définie de manière à répondre aux problématiques étudiées dans les deux projets. Pour ce qui concerne ce projet de l'ENS de Cachan, l'enquête doit permettre, par sa collecte d'informations, de déterminer les paramètres nécessaires à :

- la description de leurs déplacements quotidiens
- l'estimation des distributions des consentements à payer : valeurs du temps, coûts de déshorage, confort dans les transports collectifs, stationnement automobile, primes de risque
- l'analyse de la sensibilité des individus à différents mécanismes de tarification des transports urbains
- la calibration du modèle de microsimulation METROPOLIS
- la calibration du modèle d'évaluation économique MOLINO.

Pour ce qui est de l'autre projet PREDIT, l'enquête permettra d'analyser en plus les choix de mobilité à moyen et long termes : la localisation résidentielle et l'équipement automobile. Une attention particulière sera portée sur les mécanismes de négociation et d'interaction au sein du couple et leurs incidences sur ces choix de mobilité.

La nature de l'enquête est double : préférences révélées et préférences déclarées. L'intérêt de cette enquête est de collecter de l'information sur l'existant et ce qui pourrait potentiellement exister en termes de politiques tarifaires. L'enquête préférences révélées nous permet d'obtenir de l'information relative aux choix actuellement faits par les individus en matière de localisation résidentielle, choix d'équipement, et déplacements. L'enquête préférences déclarées nous permet d'obtenir de l'information concernant les choix que feraient les individus interrogés s'ils devaient faire face à de nouvelles situations de choix en matière de déplacement.

La construction et l'exploitation de l'enquête s'est réalisée en plusieurs phases :

- Etude des enquêtes existantes et de leurs questionnaires, afin d'identifier les points forts et les points faibles de chacune d'elles et d'en tirer profit
- Définition d'un échantillon de taille assez grande pour permettre des études statistiques et économétriques produisant des résultats significatifs
- Organisation du questionnaire de façon à maintenir le répondant attentif
- Définition de plans d'expérience pour la composante « préférences déclarées » de l'enquête, afin que chacun des scenarios proposés soit vraisemblable et apporte une information utile. Le questionnaire est dynamique dans le sens où les questions sont adaptées aux réponses antérieures fournies par le répondant.
- Rédaction du questionnaire, en collaboration avec l'équipe de TNS SOFRES
- Collecte de données par TNS-SOFRES

- Création du dictionnaire des variables (disponible dans le volume 1 Partie B des annexes)
- Analyse statistique préliminaire
- Utilisation de données pour un calibrage des modèles économétriques (valeur du temps, coût de déshorage…).

A. L'Etat de l'art

1. Les enquêtes existantes

Afin de mener au mieux notre étude, nous nous sommes inspirés d'enquêtes déjà existantes dans le choix des questions à poser et des informations à collecter, en particulier de l'avant dernière Enquête Globale Transport (EGT), de la dernière Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD), du panel Parc-Auto, et de l'enquête MADDIF. Nous aurions bien évidemment souhaité accéder aux bases d'échantillon pour repartir de l'existant et/ou disposer d'information statistique actualisés cependant, pour différentes raisons, cela nous a été impossible.

a) L'Enquête Globale Transport – EGT[20]

L'EGT est une enquête menée environ tous les dix ans sur les déplacements franciliens de grandes ampleurs (environ 10 000 interrogés). Elle est actuellement mise à jour mais les fichiers ne sont pas encore disponibles. Son but est de permettre le suivi et l'interprétation des évolutions des pratiques de déplacements des franciliens. Elle aide notamment à l'évaluation des politiques régionales de transports. L'échantillon de l'enquête est tiré dans la base du recensement général de la population. L'EGT renseigne principalement sur :

- l'équipement des ménages
- les abonnements aux transports collectifs
- la mobilité quotidienne des franciliens (motifs, modes, volume, géographie, vitesse et portée des déplacements)
- la mobilité de fin de semaine.

L'EGT est une enquête représentative sur les déplacements en Île-de-France. Son niveau de détails ne peut être envisagé dans l'enquête MiMeTTIC. L'analyse de l'EGT à conduit à un article sur les valeurs du temps franciliennes de de Palma et Fontan (2001) "Choix modal et valeurs du temps en Île-de-France"[21] ; le but était de mettre en évidence l'importance de la valeur du temps dans les analyses coûts-bénéfices pour mener à bien la monétarisation de gains de temps (entre autre). Élément primordial pour évaluer les projets d'infrastructures régionaux. Nous nous sommes donc inspirés de l'enquête EGT pour les questions relatives aux déplacements dans le but d'analyser la valeur du temps des franciliens, tant en fonction de leurs caractéristiques individuelles, que de celles de leurs déplacements.

b) L'Enquête Nationale Transports et Déplacements

L'ENTD à lieu tous les dix/quinze ans. Elle est menée conjointement par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM), l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) et l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports et de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR).

Son principal objectif est de renseigner avec détail sur les pratiques générales des déplacements en France métropolitaine. Des comparaisons sur longues périodes sont possibles avec l'ENTD permettant d'estimer les tendances en matière d'évolution des trafics et de décrire les évolutions

[20] DREIF. (2001). *Enquête Globale Transport.* Tech. rep., Division des infrastructures et des transports.
[21] de Palma, A. et C. Fontan, (2001). Choix Modal et Valeurs du Temps en Île-de-France, Recherche - Transports - Sécurité Volume 71, pp. 24-46.

des pratiques de mobilité individuelle. Plus complète que l'EGT, l'ENTD est conçue pour permettre l'étude de l'ensemble des pratiques de mobilité. Elle se divise en cinq grandes parties :

- la mobilité résidentielle
- la mobilité régulière
- la mobilité locale
- la mobilité de longue distance
- l'équipement.

Elle se déroule en deux phases :

- une première visite en face à face dans les ménages pour collecter les informations générales (caractéristiques individuelles et équipement du ménage, information logement et déplacements dits habituels).
- une seconde visite où un individu est tiré au sort dans le ménage. Des questions plus détaillées sur les déplacements d'un jour particulier et sur les déplacements longue distance sont posées.

Entre les deux phases, un carnet véhicule est remis pour collecter de l'information sur l'utilisation d'un véhicule (tiré au « hasard » dans la flotte du ménage).

Au total, près de 50 000 individus (membres des ménages puis individu tiré au hasard) sont sollicités pour répondre à l'ENTD.

La mobilité de longue distance et les déplacements particuliers n'étant pas au cœur de notre projet, nous avons principalement retenu de l'enquête les questions relatives à la mobilité régulière et locale.

c) L'Enquête Parc-Auto[22]

L'enquête Parc-auto réalisée par TNS-SOFRES est spécifique à l'équipement des ménages. Elle se divise essentiellement en deux grandes parties :

- **Vous et l'automobile**. On trouve dans cette partie les informations relatives au choix de modes, à la fréquence d'utilisation et du détail sur le ravitaillement en carburant, les réparations automobiles, l'achat de véhicules sur internet et les opinions générales sur l'automobile.
- **Votre foyer et l'automobile**. Dans cette partie de l'enquête on trouve des informations concernant l'équipement et le détail de l'équipement automobile (nombre de voiture, marque, modèle, consommation en litres aux 100 km) et son acquisition (neuve ou d'occasion, acheteur, propriétaire, conducteur principal,...).

Nous avons consulté avec beaucoup d'attention la partie "Votre foyer et l'automobile" pour élaborer nos questions sur l'équipement des ménages. De Parc Auto nous avons également conservé l'aspect environnemental et les questions afférentes au type de carburant.

[22] SOFRES. (2002). *Le Parc Automobile 2001 - Module Ménage. Notes de synthèse rédigées pour l'INRETS.* Tech. rep.

d) L'Enquête MADDIF[23]

Une autre enquête a profondément inspiré MIMETTIC, il s'agit de l'enquête Multimotifs Adaptée aux Déplacements en Île-de-France - MADDIF menée en 2001. Cette enquête avait pour but de collecter des données sur les déplacements et le comportement des voyageurs et constituait la première tentative d'analyse approfondie de la composante horaire des déplacements. Elle visait plus particulièrement à améliorer les prédictions de choix de mode, et du chaînage d'activité sur la base d'un modèle de McFadden/Heckman.

L'objectif du questionnaire était de récolter un maximum d'informations sur les composantes horaires des déplacements : contraintes personnelles et familiales, heures préférées d'arrivée, heures de rendez-vous, heures anticipées d'arrivée… Une fois ces composantes déterminées, le questionnaire devait permettre de proposer des options de choix de départ et d'arrivée tout en respectant les contraintes décrites par chaque interviewé. De plus, des informations sur le mode de transport de remplacement, l'utilisation de l'information ou la connaissance du trajet ont été récoltées et mis en rapprochement avec la composante horaire.

Les résultats statistiques de base d'exploitation de l'enquête ont permis de comprendre les caractéristiques horaires des déplacements des franciliens. Outre ces résultats statistiques, les données ont pu être utilisées dans le cadre de modèles de choix discrets. En effet, les options de choix peuvent être propres aux modes de transport, aux heures de déplacement, ou aux deux. Les estimations des modèles de choix de l'heure de départ ont indiqué des coûts importants dus aux délais à l'arrivée. De plus, les résultats économétriques ont clairement affiché une dépendance du choix du mode de transport à la composante horaire.

Le projet a été déroulé en deux phases. La première consistait à réaliser et soumettre un questionnaire à un échantillon de franciliens. La seconde phase reposait sur l'analyse statistique puis économétrique des réponses obtenues.

L'enquête MADDIF a collecté ces réponses auprès de 4203 répondants de plus de 15 ans. Elle s'organise en six grands axes :

- Descriptions des déplacements ;
- Caractéristiques d'un déplacement ;
- Connaissance et information des réseaux de transports (privés et collectifs) ;
- Scénarios hypothétiques de modification des heures de départ, du mode de transport, du temps de trajet ex-ante ;
- Loteries sur temps de trajet certain et variable.

Les analyses statistiques du projet MADDIF ont permis de montrer que les interviewés sont sensibles à la précision de leurs réponses sur les heures de déplacements. Une majorité des individus a le sentiment de subir un temps de trajet trop important. Ils avancent généralement des problèmes liés à la congestion. Les principales contraintes horaires au domicile ont été analysées, et il a été montré que plus de la moitié des déplacements sont contraints par une heure d'arrivée officielle, comme un

[23] Pour un complément d'informations, voir de Palma, A. et C. Fontan, (2000). Enquête MADDIF : Multimotifs adaptée à la dynamique des comportements de déplacements en Ile-de-France. Rapport de recherche pour la DRAST. 147 p.
http://www.innovations-transports.fr/IMG/pdf/139-R99MT20.pdf

rendez-vous une heure fixée à l'avance, ces contraintes horaires limitant en moyenne les individus dans une plage d'arrivée d'environ une demi-heure.

Il a été noté que l'heure préférée d'arrivée est souvent très proche de l'heure officielle d'arrivée, majoritairement cinq minutes avant, qu'un quart des individus arrive en avance par rapport à l'heure préférée, un quart arrive à l'heure et le reste arrive en retard. Ces parts sont sensiblement modifiées en fonction des motifs de déplacement. Les usagers des transports en commun arrivent plus souvent en avance. Plus de deux tiers des individus ont tendance à éviter le risque de fluctuation du temps de trajet.

Différentes formes fonctionnelles ont été proposées pour estimer les coûts de déshorage. Les estimations des modèles de choix discrets ont révélé des spécifications différentes selon les motifs et les modes de déplacements utilisés. En moyenne, le coût de déshorage représentait un quart du coût généralisé total, ce qui met en évidence la sous-évaluation actuelle des coûts de la congestion. La modélisation des choix entre modes de transports en commun et voiture particulière était très influencée par les délais encourus à l'arrivée. Il s'est en effet avéré que ces variables sont déterminantes dans le processus de choix. Le poids qui leur est attribué est jusqu'à vingt fois supérieur à celui accordé au temps de trajet. Pour finir, les auteurs retiennent que pour la région parisienne, le coût moyen dû au délai par usager est de l'ordre de 3,05 € alors que celui passé dans le véhicule est de l'ordre de 9,15 €.

Cette enquête a donc permis l'estimation des paramètres comportementaux relatifs au choix horaires. Ces paramètres ont été ensuite utilisés pour la calibration du modèle METROPOLIS (de Palma et Marchal, 2002). La principale faiblesse de cette enquête réside dans l'incomplétude du niveau de détail des modes de transports (Voiture Particulière ou Transports en Commun). Il n'y a pas de détails concernant les sous-modes : bus, métro, vélo... Malgré ce détail, cette enquête reste pertinente de par la méthodologie innovante employée et les résultats obtenus. C'est pourquoi, nous faisons le choix de conserver de cette enquête la formulation de la démarche d'analyse de la composante horaire ainsi que celle qui consiste à placer les individus face à des scénarios hypothétiques dans lesquels il est possible d'inclure une dimension risque.

2. Le modèle de choix de l'horaire de départ

a) Le modèle standard

Le choix de l'horaire de départ est représenté par un compromis entre temps de trajet et retard. Pour la plupart de ses trajets, le voyageur possède un horaire préféré d'arrivée à destination. Cependant, il arrive habituellement à destination soit trop tôt (ce qui implique un coût de retard « en avance») soit trop tard (ce qui implique un coût de retard « en retard »). Le temps de trajet est généralement le plus élevé quand l'horaire d'arrivée correspond à l'horaire préféré d'arrivée et que la congestion est maximale. L'analyse du choix de l'horaire de départ est fondée sur l'idée qu'il existe un compromis entre le coût relatif au temps de trajet et celui relatif aux arrivées précoces ou tardives. Cette idée initialement introduite par Vickrey (1969) a été étendue dans un série de papiers par de Palma et al. et Arnott et al. Elle reste centrale dans plusieurs études dynamiques du comportement du voyageur.

Le modèle standard analyse le choix de l'horaire d'arrivée sur le lieu de travail. Notons t_d l'horaire de départ, t^* l'horaire préféré d'arrivée au travail (ou l'horaire officiel)[24] et $tt(t_d)$ le temps de trajet. La fonction de coût généralisé $C(t_d)$ dépend du temps de trajet $tt(t_d)$, du délai précoce $[t^* - t_d - tt(t_d)]^+$ et du délai tardif $[t_d + tt(t_d) - t^*]^+$, avec $[x]^+ = \max(x, 0)$. Trois paramètres dynamiques reflètent les coûts marginaux : α la valeur du temps, β le coût d'une minute de moins à l'horaire d'arrivée à la destination et γ le coût d'une minute de plus à l'horaire d'arrivée à la destination. A l'aide d'une spécification linéaire, la fonction de coût $C(t_d)$ est définie comme suit :

$$C(t_d) = \alpha \,.\, tt(t_d) + \beta \,.\, [t^* - t_d - tt(t_d)]^+ + \gamma \,.\, [t_d + tt(t_d) - t^*]^+$$

Le modèle de Vickrey a été très utilisé pour les trajets depuis le domicile jusqu'au lieu de travail. Il a été étendu aux trajets reliant le domicile à l'école (Nuzzolo et Russo, 1998). de Palma et al. (2001) ont étendu l'analyse à d'autres motifs, en démontrant que la distribution des paramètres dépend du motif du déplacement. Nous référons nos lecteurs à la synthèse récente de de Palma et Fosgerau (2011).

Un retard apparaît lorsque l'horaire d'arrivée ne coïncide pas avec « l'horaire individuel de référence », usuellement appelé l'horaire préféré d'arrivée. Ces concepts sont définis dans la section suivante.

b) L'horaire préféré d'arrivée

Le retard est défini comme la différence entre l'horaire d'arrivée réel et l'horaire d'arrivée préféré. Plusieurs définitions ont été proposées pour cette différence. La première application (Cosslett, 1977) utilisait le dernier horaire d'arrivée sans pénalité (« latest arrival time without penalty »), mais le mot pénalité n'est pas clairement défini. L'horaire officiel de début de travail (« official work start time ») proposé par Abkiowitz (1981) et Small (1982) comporte plusieurs défauts. Tout d'abord, la définition est limitée aux déplacements à horaires fixes relatifs au travail. De plus, elle n'inclut pas la préférence pour une arrivée précédant l'horaire officiel de début de travail (pour par exemple boire un café ou lire un journal). Ainsi, l'utilisation de cette définition introduit un biais dans le calcul du retard.

Mannering (1989) et Noland et Small (1995) utilisent l'horaire habituel d'arrivée (« usual arrival time »). Cependant, dans de nombreuses situations, l'horaire habituel d'arrivée ne correspond pas aux préférences individuelles. Par exemple, les utilisateurs de Transports en Commun ne sont pas en mesure de choisir exactement leur horaire d'arrivée, et cet horaire ne correspond donc pas à celui qu'il préférerait. Wang (1996) utilise les heures prévues (« planned hours ») et l'horaire d'arrivée est fixé dans le schéma d'activité au début de la journée. Toutefois, l'horaire prévu d'arrivée est davantage représentatif des préférences de l'usager des Transports en Commun que l'horaire habituel d'arrivée. D'autres études (Hendrickson et Plank 1984, Mahmassani et Chang 1986, Abu-Eisheh et Mannering 1987, Cascetta *et al.* 1992, de Palma and Rochat 1996, de Palma et Fontan, 1998) définissent le retard comme la différence entre l'horaire réel d'arrivée et l'horaire préféré ou désiré.

Les deux variables explicitées ci-dessus sont quelques fois utilisées sans distinction. Ben-Akiva (1999) note que l'horaire désiré d'arrivée résulte d'un choix (dépendant de la variabilité du temps de trajet et des pénalités pour une arrivée tardive ou précoce) et ne correspond pas nécessairement à

[24] Voir la section suivante pour une définition détaillée de t^*.

l'horaire préféré d'arrivée. Pour cette raison, nous utilisons la terminologie « préféré ». L'horaire préféré d'arrivée devrait être inclus dans une fenêtre acceptable d'arrivée. Prenons pour exemple un travailleur se déplaçant de son domicile vers son lieu de travail avec les caractéristiques suivantes :

- Il ne peut pas arriver avant 8h (les portes de son lieu de travail sont fermées)
- Il ne peut pas arriver après 9h (une réunion très importante commence à 9h)

A la question : *Quel est votre horaire préféré d'arrivée* ? , le répondant peut répondre 10h parce qu'il ne considère pas ses contraintes à destination. Ainsi, en utilisant la terminologie « préféré », nous devons limiter l'intervalle de temps à un contexte contraint : *Entre 8 et 9h, quel est votre horaire préféré d'arrivée ?* Notons que l'horaire préféré d'arrivée peut-être un intervalle, dans lequel l'individu peut arriver sans supporter de pénalité.

B. Présentation de la méthodologie d'enquête

1. La proposition de recherche

L'enquête MIMETTIC figure dans la proposition de recherche transmise au groupe opérationnel 6 du PREDIT le 18 novembre 2009 sous le titre Tarification des Transports Individuels et Collectifs à Paris - Dynamique de l'accessibilité - . En effet, cette enquête y est inscrite en tant que « tâche 4, base de données et enquêtes ». L'objectif global était d'évaluer les réactions des usagers aux différents types de péage envisagés, ainsi que leur acceptabilité.

L'échantillon interrogé par le biais de questionnaires sur internet devait contenir entre 2000 et 4000 individus, une surface suffisamment importante pour effectuer des études économétriques significatives des résultats.

L'enquête devait comporter plusieurs parties afin de servir différents projets. La partie qui nous intéresse fait plus particulièrement référence aux préférences déclarées. Il s'agissait de mettre les interviewés en situation hypothétique de choix entre différents scenarii. Ces scenarii se distinguant les uns des autres par des variations des conditions de trajet, que ce soit par véhicule privé ou par transport en commun.

Pour les trajets en véhicule privé, les variations portent sur le temps de trajet, les temps pour trouver un emplacement disponible pour stationner, le coût éventuel de ce stationnement, le montant de péage éventuel sur l'itinéraire choisi, l'heure de départ ou encore le risque sur le temps de trajet ou de recherche d'emplacement de stationnement disponible. Certains scenarii placeront les interviewés dans une situation où le prix des carburants est considérablement augmenté ou au contraire réduit. Pour les trajets en transport en commun, les variations devaient porter sur la fréquence, le temps moyen de trajet, le niveau de confort, le nombre de correspondances, la fiabilité des horaires et des temps de trajet ou encore la tarification.

L'objectif principal était de déduire de cette enquête une distribution des préférences des voyageurs, qui sont observables à travers un coût généralisé de trajet. C'est pourquoi un échantillon représentatif de taille suffisante est nécessaire pour capter l'hétérogénéité des préférences des voyageurs. La distribution des paramètres devait être estimée en fonction des caractéristiques des individus et des ménages, telles que le lieu de résidence, l'âge, le sexe, la catégorie socioprofessionnelle ou le revenu.

D'un point de vue pratique, les ménages devaient être interrogés soit via internet soit via courrier. Chaque répondant devait recevoir une somme de l'ordre de 20 € sous la forme de bon permettant d'acheter du carburant ou des titres de transport.

2. La construction du questionnaire

a) Organisation du questionnaire principal

Le questionnaire principal est divisé en trois parties : un questionnaire référent, un questionnaire individuel, un questionnaire couple. Le questionnaire comprend, parmi d'autres questions, une partie dite « préférences révélées » et une partie dite « préférences déclarées ».

Chaque personne remplit un questionnaire individuel. De plus, pour les personnes vivant en couple, un questionnaire couple est ensuite rempli par couple. Le questionnaire couple ne peut être rempli

que si les deux questionnaires individuels ont été remplis. Le questionnaire individuel dure environ ½ heure, le questionnaire couple aussi. Le questionnaire couple utilise des informations individuelles (c'est-à-dire des informations figurant sur chacun des questionnaires individuels remplis précédemment par chacun des deux membres du couple). Ceci est possible, mais impose un format de questionnaire. En fait, il y aura une unité physique par ménage qui comprendra successivement les questionnaires ménage, les individuels et le questionnaire couple. Ceci implique qu'il n'y a pas plus de deux questionnaires individuels par ménage. Lorsqu'il y a un couple, et que l'on veut un questionnaire couple, seuls les membres du couple répondent aux questionnaires individuels.

On constate aussi que l'obtention de questionnaires couples est plus contraignante que l'obtention de questionnaires individuels. Aussi, cherche-t-on systématiquement à obtenir des questionnaires couples dès le début, i.e. question au panéliste s'il a un conjoint / si oui, son conjoint accepte-t-il (elle) de remplir un questionnaire individuel, puis un questionnaire couple, par couple.

b) Description du questionnaire principal[25]

Le questionnaire ménage

Le questionnaire ménage décrit la composition sociodémographique du ménage et de ses membres, son revenu (de manière synthétique afin d'éviter des taux de non réponse trop importants), son équipement de mobilité actuel (essentiellement automobile), sa localisation résidentielle et quelques caractéristiques du voisinage de cette dernière. Il est rempli par la personne de référence. Ces informations, dont on sait qu'elles sont pertinentes pour l'étude, serviront en outre à la construction de scénarios de préférences déclarées en ce qui concerne les choix de localisation résidentielle et d'équipement automobile des ménages. Le détail des questions est fourni en annexe du présent rapport.

Le questionnaire individu

Le questionnaire individu est rempli par les deux membres du ménage formant un couple, sinon seulement par la personne de référence. Chacune des personnes est censée répondre pour elle-même. Elle renseigne quelques informations générales relatives à sa possession d'un titre de transport en commun, son lieu et ses horaires de travail (ainsi que leurs variabilités respectives). S'ensuit une description simple de l'ensemble des déplacements effectués la veille (si aucun déplacement n'est effectué, nous demandons ceux de l'avant-veille tout en contrôlant la proportion des jours étudiés au niveau de l'échantillon) : motif, horaires de départ et d'arrivée, modes de transport. Un déplacement « significatif » (en priorité un déplacement motorisé pour motif travail) est sélectionné pour une analyse plus détaillée : chaînes de modes de transport et durées afférentes, voyage seule ou accompagné et motif du/des passager(s), stationnements associés au déplacement sélectionné (temps de recherche, durée et coût), etc.

c) Scénarios de préférences déclarées

Après avoir répondu aux questions spécifiques à ses déplacements, et après qu'un déplacement particulier soit tiré dans la liste, l'individu est confronté à des scénarios de choix hypothétiques. Ces exercices de préférences déclarées concernent l'analyse de :

- la valeur du temps : voiture, transport en commun ; avec ou sans risque sur les temps de trajet

[25] Les questionnaires sont disponibles dans les Annexes volume 2 A, dans une version épurée.

- le confort des déplacements dans les transports en commun : avec ou sans risque sur les temps de trajet
- le choix de route : voiture, avec ou sans risque sur les temps de trajet
- le stationnement : voiture, avec ou sans risque sur les temps de trajet
- le choix horaire
- l'acceptabilité d'un péage urbain.

Les réponses obtenues nous permettront d'éliciter les distributions des paramètres comportementaux $\alpha - \beta - \gamma$ dans la population sondée.

La séquence des scénarios n'est pas la même selon que le déplacement à partir duquel ils sont établis est un déplacement en voiture (VP) ou un déplacement en transport en commun (TC). Si le mode est TC, les scénarios proposés permettent l'évaluation de la valeur du temps, du consentement à payer pour le confort (ici mesuré par la possibilité d'être assis ou debout et de disposer ou non d'un espace suffisant ou non), avec ou sans présence de risque sur les temps de transport (auquel cas il sera aussi possible de mesurer l'aversion au risque des voyageurs).

Si le mode est VP, les scénarios proposés permettent l'évaluation de la valeur du temps, du choix d'une route tarifée ou non, de la valeur du temps de recherche d'un stationnement, avec ou sans présence de risque sur les temps de transport.

Quel que soit le mode de transport, le scenario sur les choix horaires est proposé. Il permettra d'estimer les distributions de la valeur du temps d'arrivée en avance et de la valeur du temps d'arrivée en retard.

Enfin, un dernier scenario sur l'introduction de différents types de péages urbain (tarification zonale, cordon, vignette) est proposé. Parmi un ensemble de questions, il a été projeté aux répondants une carte décrivant deux types de péages routiers : cordon ou zone. Il leur a été demandé s'ils étaient prêts à accepter les différents types de péage.

d) A propos de la génération des situations de choix

Un point important dans la construction des scénarios de préférences déclarées est notre volonté de ne pas les rendre « dépendants à la situation révélée » dans le sens où nous ne les construisons pas sur la base « exacte » du déplacement qui sert de référence. Il existe en effet de nombreuses manières de générer des situations de choix pour des exercices de préférences déclarées. Nous avons choisi des plans d'expérience fixes (« fixed choice designs »). L'idée est la suivante : l'individu, au cours du questionnaire relatif aux préférences déclarées, renseigne certaines variables qui sont ensuite utilisées pour la construction de situations de choix hypothétiques. Dans la mesure où nous souhaitons nous affranchir le plus possible des phénomènes de dépendance à un point de référence tout en cherchant à obtenir des réponses réalistes, nous n'utilisons pas ces informations en tant que telles mais nous nous en servons pour tirer « au hasard » dans une base de scénarios l'un de ceux qui se « rapproche » le mieux de la situation vécue par le répondant.

Un autre point dans notre méthode de construction de scénarios de préférences déclarées est que son objectif est l'estimation des paramètres comportementaux des individus dans l'espace des consentements à payer et non dans l'espace des fonctions d'utilité aléatoire. A ce titre, à l'exception des scénarios de choix d'horaires et des scénarios relatifs à l'acceptabilité de types de péages

routiers, nous procédons par encadrement (technique dite de « bracketing ») des paramètres d'intérêt.

En ce qui concerne les scénarios de choix d'horaires, la philosophie reste la même excepté le fait que nous générons les situations de choix, toujours par légère déviation à la situation révélée, au moyen de tirages de nombres aléatoires.

3. Bases de données

Les données transmises par la TNS-Sofres étaient réparties en trois bases : une base « référent », une base « conjoint » et une base de panel. Les deux premières bases contiennent les réponses concernant la partie péage de l'enquête. Afin de pouvoir exploiter les informations de manière efficace, la première des tâches a été de mettre en forme ces bases. Nous référons pour cela le secteur aux annexes volume 2 B. La base référent contenait 3497 répondants et la base conjoint 2916.

C. Les principaux résultats statistiques

1. Caractéristiques de l'échantillon

a) Les caractéristiques démographiques

Notre échantillon contient 3497 répondants « référents » (que nous nommerons dès lors simplement *référents*), parmi lesquels nous trouvons 65,8% de femmes. La Figure 6 représente la distribution de l'âge des répondants. La catégorie la plus représentée est celle des 30-34 ans.

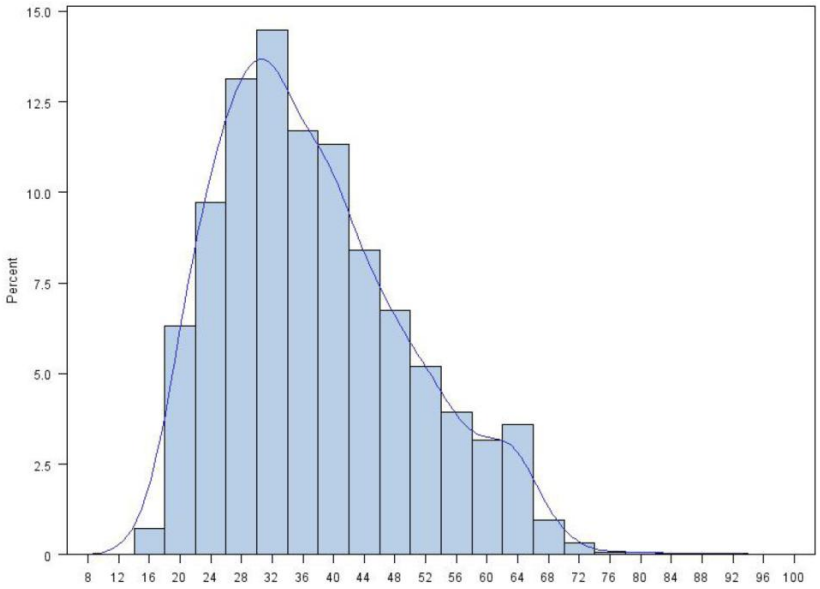

Figure 6 : Histogramme de l'âge des référents

Notre échantillon contient aussi 2916 *conjoints*, dont 37,14% sont des femmes. La distribution de l'âge des conjoints est représentée dans la Figure 7. Remarquons que l'âge moyen des conjoints est beaucoup plus élevé que l'âge moyen des référents, et que l'on observe un décalage de la courbe vers la droite. Il faudra prendre en compte cette particularité lors de l'analyse économétrique.

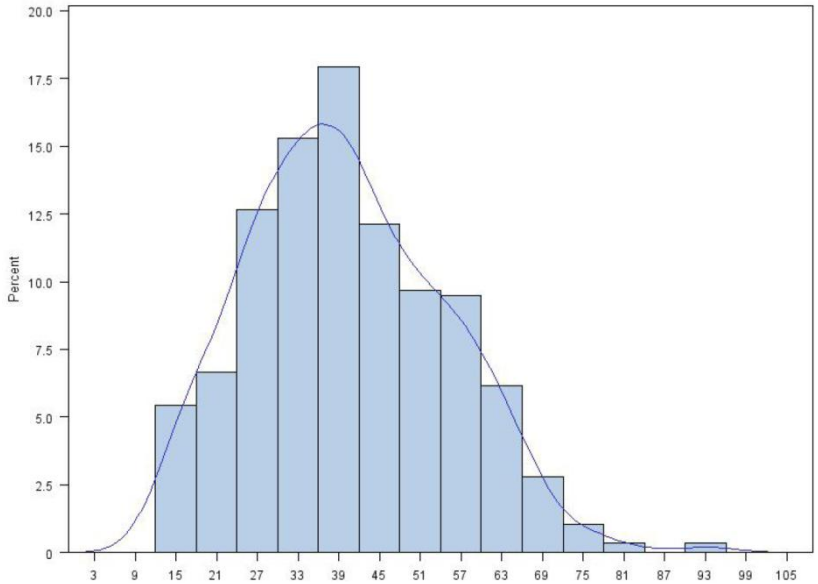

Figure 7 : Histogramme de l'âge des conjoints

En moyenne, les ménages sont constitués de 2,84 personnes (Tableau 1).

Nombre de personnes par ménage	Nombres de ménages	Pourcentage
1	492	14,07%
2	1066	30,48%
3	160	21,73%
4	769	21,99%
5	316	9,04%
6	63	1,81%
7 et plus	31	0,89%
Total	3497	100%

Tableau 1 : Taille des ménages

b) Les caractéristiques socioprofessionnelles

Le taux d'emploi est quasiment le même dans chacun de nos échantillons (72,06% pour les référents contre 73,66% pour les conjoints). Toutefois, quelques différences existent entre les deux échantillons dans le taux de chômage, le nombre de femmes au foyer et la proportion d'étudiants, comme le montre le Tableau 2.

Activité professionnelle	Référent	Pourcentage	Conjoint	Pourcentage
Actif employé	2520	72,06%	2125	73,66%
Actif inemployé	228	6,52%	139	4,82%
A la recherche du premier emploi	42	1,20%	28	0,97%
Etudiant	213	6,09%	274	9,50%
Retraité	249	7,12%	222	7,69%
Femme au foyer	197	5,63%	63	2,18%
Autre	46	1,32%	34	1,18%
Total	3497	100%	2885	100%

Tableau 2 : Activité Professionnelle

La répartition selon les catégories socioprofessionnelles est décrite dans le Tableau 3.

	Référents	Pourcentage	Conjoints	Pourcentage
Agriculteurs exploitants	12	0,34%	9	0,42%
Artisans, Commerçants	87	2,49%	114	5,36%
Cadres	701	20,05%	606	28,52%
Professions libérales	101	2,89%	80	3,76%
Professions intermédiaires	542	15,50%	320	15,06%
Employés	1018	29,11%	836	39,34%
Ouvriers	59	1,69%	137	6,45%
N/A	977	27,94%	23	1,08%
Total	3497	100%	2125	100%

Tableau 3 : Catégories Socioprofessionnelles (Classification INSEE)

La distribution du revenu des ménages est représentée dans le Tableau 4 s'ils ont choisi de déclarer un revenu annuel, et dans le Tableau 5 s'ils ont choisi de déclarer un revenu mensuel. Notons ici que le taux de réponse pour le revenu est de 78,9%, ce qui est largement au-dessus des taux de réponse habituellement observés.

Revenu net annuel des ménages en 2010 (en milliers d'euros)	Nombre de ménages	Pourcentage
Moins de 7	32	2,77%
7 à 12	34	2,94%
12 à 15	43	3,72%
15 à 19	54	4,67%
19 à 23	87	7,52%
23 à 27	103	8,90%
27 à 30	64	5,53%
30 à 38	149	12,88%
38 à 45	152	13,14%
45 à 61	218	18,84%
61 à 76	94	8,12%
76 à 91	56	4,84%
91 à 150	46	3,98%
Plus de 150	20	1,73%
N/A	5	0,43%
Total	1157	100%

Tableau 4 : Revenu annuel net en 2010

Plus de la moitié des ménages a choisi un mode de réponse mensuel.

Revenu net mensuels des ménages en 2010 (en milliers d'euros)	Nombre de ménages	Pourcentage
Moins de 0,6	30	2,59%
0,6 à 1	38	3,28%
1 à 1,2	50	4,32%
1,2 à 1,5	116	10,03%
1,5 à 1,8	103	8,90%
1,8 à 2	80	6,91%
2 à 2,5	187	16,16%
2,5 à 3	236	20,40%
3 à 4	256	30,77%
4 à 6	314	27,14%
6 à 10	74	6,40%
10 à 12	5	0,43%
12 à 15	3	0,26%
Plus de 15	7	0,61%
N/A	3	0,26%
Total	1602	100%

Tableau 5 : Revenu mensuel net en 2010

c) Les caractéristiques géographiques et de capacité de déplacement

Sur le plan géographique, la répartition des répondants à travers les départements d'Île de France est très similaire à la répartition réelle de la population en Île de France (Tableau 6).

Département de résidence	Nombre de ménages interrogés	Pourcentage
75	683	19,53%
77	406	11,63%
78	453	12,9%
91	410	11,72%
92	462	13,21%
93	378	10,8%
94	369	10,55%
95	336	9,61%
Total	3497	100%

Tableau 6 : Département de résidence

82,25% des référents et 84,02% des conjoints possèdent un permis de conduire. En moyenne, les ménages possèdent 1,34 voitures (Tableau 7).

	75	77	78	91	92	93	94	95	Total
0	256 7,32	25 0,71	23 0,66	17 0,49	79 2,26	69 1,97	60 1,72	35 1	564
1	322 9,21	166 4,75	215 6,15	199 5,63	272 7,78	190 5,43	208 5,95	166 4,75	1738
2	91 2,60	179 5,12	183 5,23	165 4,72	105 3	96 2,75	87 2,79	122 2,49	1028
3	11 0,31	30 0,86	27 0,77	23 0,66	5 0,14	19 0,54	12 0,06	8 0,14	135
4 et plus	3 0,09	6 0,17	5 0,14	6 0,17	1 0,03	4 0,11	2 0,06	5 0,14	32
Total	683	406	453	410	465	378	369	337	3497

Tableau 7 : Nombre de voitures disponibles par ménage et par département de résidence

En moyenne, les ménages des répondants possèdent 0,21 motos (Tableau 8).

	75	77	78	91	92	93	94	95	Total
0	552 15,78	330 9,44	383 10,95	338 9,67	365 10,44	303 8,66	316 10,55	287 8,21	2874
1	103 2,96	58 1,66	58 1,66	61 1,74	82 2,34	59 1,69	43 1,23	59 1,23	507
2	19 0,54	10 0,29	11 0,31	8 0,23	9 0,26	8 0,23	8 0,23	5 0,14	78
3	5 0,19	6 0,17	1 0,03	2 0,06	5 0,14	5 0,14	2 0,06	0 0	26
4 et plus	4 0,11	2 0,06	0 0	1 0,03	1 0,03	3 0,09	0 0	1 0,03	12
Total	683	406	453	410	462	378	369	336	3497

Tableau 8 : Nombre de motos disponibles par ménage et par département de résidence

En moyenne, les ménages des répondants possèdent 0,93 vélos (Tableau 9).

Nombre de vélos disponibles par ménage	Nombre de ménages	Pourcentage
1	748	21,39%
2	730	20,88%
3	351	10,04%
4 ou plus	398	11,38%
aucun	1270	36,32%

Tableau 9 : Nombre de vélos disponibles par ménage

Il est intéressant de remarquer que le nombre de voitures et de motos disponibles par ménages est largement fonction du département de résidence. Ainsi, les ménages vivant dans Paris intra-muros tendent à posséder moins de voiture que les autres ménages. La tendance contraire est observée pour les motos, toutefois de manière moins significative. Par exemple, 37,4% des ménages vivant à Paris ne possèdent pas de voiture, alors que cette proportion tombe à 10,9% dans les autres départements. Au contraire, 19,1% des ménages vivant dans Paris possèdent une moto, contre 15,5% dans les Yvelines (78).

Trois observations peuvent nous aider à appréhender ces statistiques. Tout d'abord, le réseau de transport en commun est beaucoup plus dense dans Paris et diminue la nécessité de posséder une voiture. De plus, la congestion routière à l'intérieur de Paris rend la circulation en voiture au mieux difficile et au pire stressante, ce qui renforce l'attrait des véhicules deux-roues. Paris concentre le cœur de l'activité économique, et rend très souvent indispensable la possession d'un véhicule pour les habitants des couronnes afin de pouvoir se déplacer. Enfin, les déplacements de banlieue à banlieue restent majoritaires.

2. Caractéristiques de déplacements

a) Les motifs de déplacement

Plus de la moitié des déplacements de notre échantillon (51,83%) ont pour motif le *Travail*. Ce motif est de loin le plus représenté puisque le second est le motif *Achat* qui ne concerne que 10,36% des déplacements (Tableau 10).

Motif	Effectif	Pourcentage
Travail	1461	51.83
Rendez –vous prof.	93	3.30
Etudes	96	3.41
Suivre formation/stage	33	1.17
Déposer qqn/l'accompagner	70	2.48
Aller chercher qqn	44	1.56
Rendre visite qqn	151	5.36
Faire des courses/achats	292	10.36
Pratiquer sport/loisir	74	2.63
Se promener	77	2.73
Aller rendez-vous médical	81	2.87
Effectuer démarche perso/ administrative	51	1.81
Aller à ma résidence secondaire	6	0.21

Tableau 10 : Motif du trajet sélectionné par le panéliste

b) Les modes de transport utilisés

Le moyen de transport le plus utilisé est la voiture (34,23%) devant le RER/train de banlieue (23,06%) et le métro/tramway (17,67%) (Tableau 11).

Principal moyen de transport utilisé	Effectif	Pourcentage
Le bus	329	11.67
Le métro/tramway	498	17.67
Le RER/ train de banlieue	650	23.06
La voiture en tant que conducteur	965	34.23
La voiture en tant que passager	181	6.42
Deux roues motorisé	42	1.49
Le vélo (libre service/personnel)	21	0.74
Marche/trottinette/roller…	133	4.72
Le bus	329	11.67

Tableau 11 : Principal moyen de transport utilisé par le panéliste

On remarquera que plus de 60% des déplacements sont effectués en utilisant plusieurs modes de transports. La multimodalité est donc un phénomène réel (Tableau 12).

Nombre de moyens de transport utilisés	Effectif	Pourcentage
1	1035	36.72
2	1182	41.93
3	442	15.68
4	131	4.65
5	22	0.78
6	4	0.14
7	2	0.07
8	1	0.04

Tableau 12 : Nombre de moyens de transport utilisés par le panéliste lors de son déplacement de référence

3. Réactions face aux variations de scenarii

Les Figure 8 et Figure 9 représentent la distribution de la valeur du temps chez les usagers TC et les usagers VP. Pour ces deux catégories de population, la valeur de temps médiane est comprise entre 8 et 10 euros. Ces résultats sont issus de l'enquête MIMMETIC, dans laquelle les scenarii proposés aux enquêtés permettent de déduire leur valeur du temps. Cette analyse est réalisée grâce aux données collectées auprès des répondants amenés à choisir entre deux couples prix/temps, selon le modèle classique »prix/temps ».

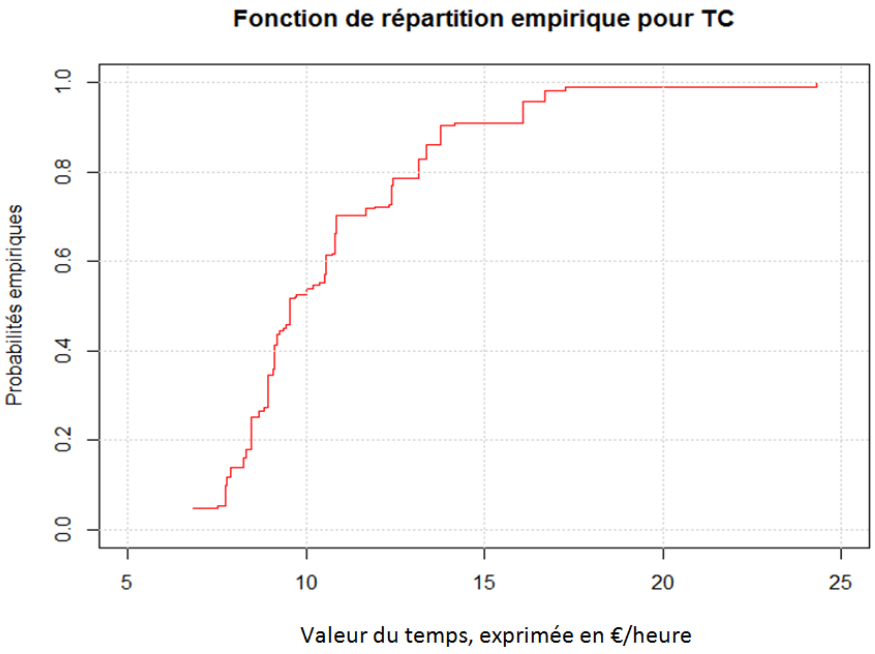

Figure 8 : Fonction de répartition de la valeur du temps des usagers TC

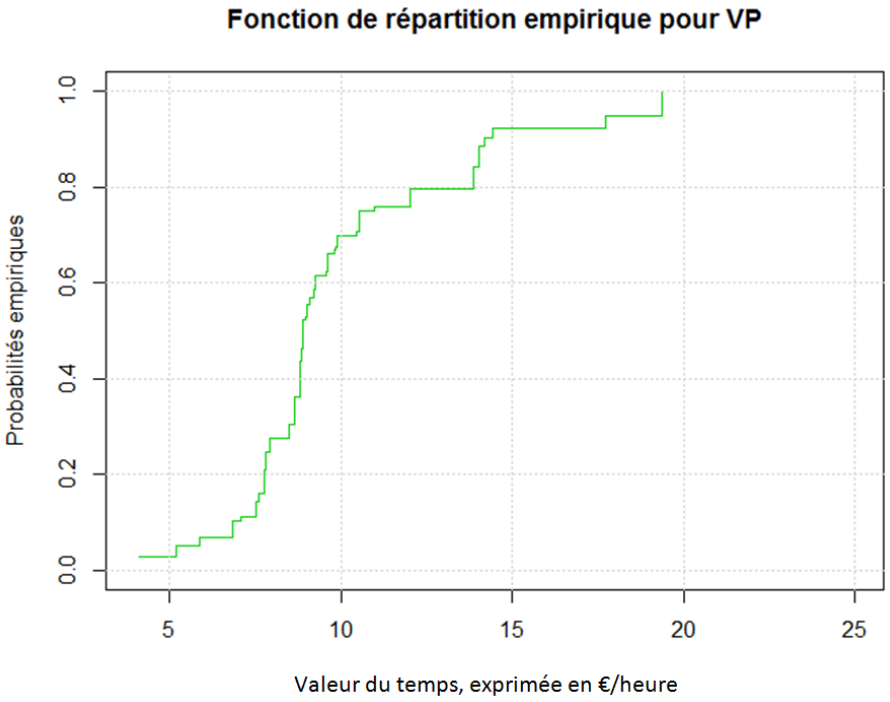

Figure 9 : Fonction de répartition de la valeur du temps des usagers VP

D. L'estimation des propensions à payer

1. Le contexte théorique

Nous nous concentrons sur l'estimation des trois paramètres clé pour l'individu i : α_i, sa valeur du temps, β_i sa valeur du temps dans des situations de déshorage « en avance » (notée SDE, *Schedule Delay Early*) et γ_i sa valeur du temps dans des situations de déshorage « en retard » (notée SDL, *Schedule Delay Late*).

Le coût généralisé de l'individu i pour un trajet comprenant un horaire optimal d'arrivée à destination t^* est composé du coût monétaire p, de la distance parcourue tt et de l'horaire d'arrivée effective t :

$$GC_i = p + \alpha_i . tt + \beta_i . SDE + \gamma_i . SDL$$

ou encore :

$$GC_i = p + \alpha_i . tt + \beta_i . (t^* - t)^+ + \gamma_i . (t^* - t)^+ .$$

Le coût généralisé de déplacement est supposé linéaire par morceaux. Cela signifie que la fonction d'utilité de l'agent est elle aussi linéaire : le taux marginal de substitution entre temps et richesse monétaire est constant. Par exemple, nous posons l'hypothèse implicite selon laquelle quelque soit la distance ou le prix d'un déplacement, l'agent est toujours prêt à payer α_i pour gagner une minute sur son temps de trajet, ou à arriver α_i / β_i minutes plus tôt que l'horaire d'arrivée optimal pour gagner une minute sur son temps de trajet.

Dans la section suivante, nous décrivons trois scenarii qui permettent d'estimer ces trois paramètres, basés sur les réponses des personnes interrogées au sujet d'un de leur déplacement choisi au hasard. Pour chaque individu, nous estimons tout d'abord α_i à l'aide des réponses au scenario 1 de l'enquête, puis β_i si l'individu a déclaré être arrivé en avance (scenario 6), ou γ_i s'il a déclaré être arrivé en retard (scenario 7).

Pour une meilleure lisibilité, nous simplifions la fonction de coût généralisé en considérant uniquement deux arguments : le coût monétaire et le temps de trajet.

2. L'évaluation de la valeur du temps

a) Le principe

Ici, nous décrivons la façon dont nous obtenons l'information sur les valeurs du temps des répondants de l'enquête. Nous supposons qu'un individu i choisi l'option m parmi un ensemble d'options Msi le coût généralisé de m est plus bas que celui de toutes les autres options :

$$\forall j \in M, \qquad GC_{i,m} \leq GC_{i,j}$$

Nous supposons que le coût généralisé de transport est une combinaison linéaire du coût monétaire du trajet et du coût de temps de trajet, produit de la valeur du temps α_i et du temps de trajet :

$$p_m + \alpha_i . tt_m \leq p_j + \alpha_i . tt_j$$

En d'autres termes, l'agent choisira l'option m si et seulement si sa valeur du temps est inférieure à la frontière :

$$\alpha_i \leq \frac{p_j - p_m}{tt_m - tt_j} \; ssi \; tt_m > tt_j$$

A partir de ce principe, nous proposons à l'individu une question à deux étapes qui nous permet de trouver un intervalle pour sa valeur du temps. Cet intervalle est obtenu en mettant en place un compromis entre coût monétaire et temps de trajet, comme l'illustre la Figure 10.

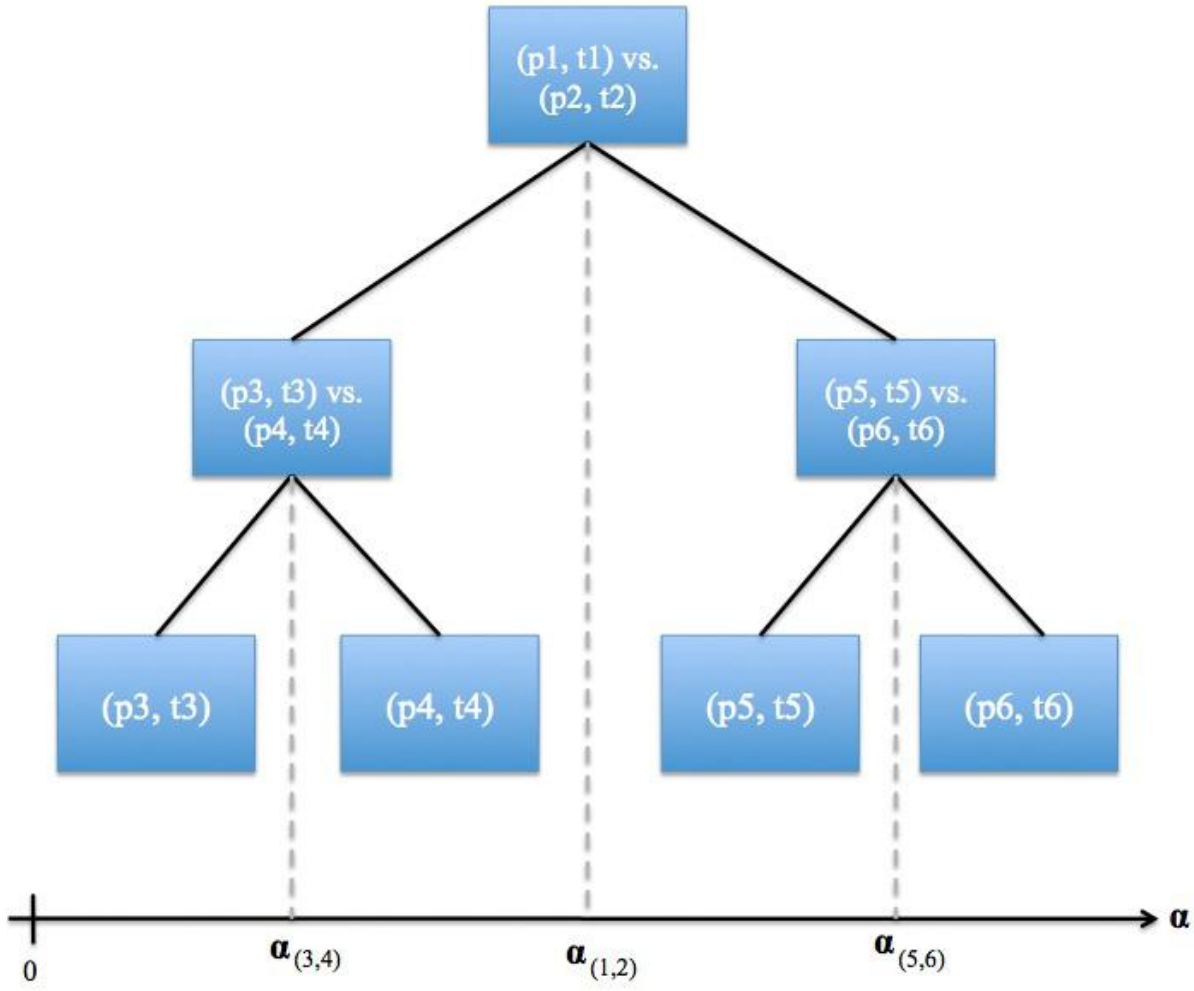

Figure 10 : Scenario 1 de l'enquête MIMMETTIC – Etude de la valeur du temps

Les coûts et temps de trajet des possibilités offertes dans les questionnaires sont très différents selon les répondants car ils sont tirés au sort avec une probabilité qui dépend de leurs précédentes réponses. Par exemple, si le répondant déclare avoir effectué un trajet de 45 minutes par voiture pour aller travailler le lundi, nous lui posons une question sur le même trajet avec des coûts et durée de trajet similaires mais tels qu'environ 50% des répondants accepteront le scenario tandis que les autres le rejetteront. Dès lors, nous sommes en mesure d'estimer l'écart-type de la valeur du temps, parce que $\alpha_{1,2}$, $\alpha_{3,4}$ et $\alpha_{5,6}$ sont des variables aléatoires d'une valeur différente pour chaque individu. Ces valeurs sont utilisées dans notre modèle économétrique.

b) Les résultats de l'estimation de la valeur du temps avec le modèle univarié

Ces valeurs du temps sont calculées pour un individu type qui est un homme, vivant en couple, ayant un enfant et travaillant à temps plein. Nous prenons comme hypothèse que les préférences de l'agent sont décrites par une fonction d'utilité linéaire et que ses taux marginaux de substitution sont constants.

La valeur du temps dans les transports particuliers

Valeur du temps estimée (€/heure)		Moyenne	Motif			
			Travail	Loisir	Retour à la maison	Télétravailleur
Tous		17,01	15,96	11,16	12,62	18,72
Lieu de résidence	Paris	26,89	25,27	14,5	14,99	30,42
	Petite couronne	16,24	15,76	9,84	11,07	11,74
	Grande couronne	15,93	14,77	11,8	13,18	17,76
Catégorie socioprofessionnelle	Cadres	18,89	15,10	12,44	15,08	15,64
	Professions intermédiaires	15,54	14,77	7,85	8,75	16,47
	Employés et Ouvriers	15,60	14,60	12,84	12,51	18,60
	Autres	17,65	18,56	10,70	13,56	18,22
Quartile de Revenu	Revenu : Q1	14,37	14,68	6,91	12,2	8,42
	Revenu : Q2	16,68	20	16,89	7,7	11,44
	Revenu : Q3	16,5	16,27	10,79	11,62	15,22
	Revenu : Q4	19,99	14,36	12,70	20,2	35,14

Tableau 13 : Valeur du temps estimée dans les transports individuels

La valeur moyenne de la valeur du temps de l'échantillon est de 17,01€ par heure. Cela signifie qu'en moyenne, lorsqu'ils utilisent leur voiture personnelle, les individus sont prêts à payer 17,01€ pour réduire leur temps de trajet d'une heure. Plus leur résidence est proche de Paris et plus ils sont disposés à payer pour réduire leur temps de trajet, avec une propension à payer maximum de 26,89€/heure pour les habitants de Paris *intra muros*. On observe la même corrélation entre niveau de revenu et valeur du temps. Plus les revenus sont élevés et plus les individus accordent de l'importance à leurs gains potentiels de temps. Ainsi, nous pouvons observer une différence de l'ordre de 39% entre les quartiles les plus extrêmes.

Le motif du déplacement a lui aussi un impact important sur la valeur du temps. En moyenne, les individus sont prêts à dépenser plus pour gagner du temps si leur but de déplacement est le travail plutôt que les loisirs (15,94€ contre 11,16€). De même, les cadres ont une valeur du temps plus élevée que l'ensemble des autres groupes. Enfin, notons que les télétravailleurs possèdent une valeur du temps très élevée (18,72€) : ils sont caractérisés par une grande aversion au temps de trajet.

Valeur du temps estimée (€/heure)		Moyenne	Motif			
			Travail	Loisir	Retour à la maison	Télétravailleur
Tous		16,65	17,11	11,69	13,64	14,16
Lieu de résidence	Paris	15,81	18,61	13,16	14,23	14,99
	Petite couronne	16,36	15,47	11,45	13,1	13,34
	Grande couronne	16,99	16,36	10,49	16,31	15,42
Catégorie socioprofessionnelle	Cadres	17,11	14,25	8,27	12,69	12,05
	Professions intermédiaires	17,88	18,52	14,77	13,59	12,83
	Employés et Ouvriers	16,02	17,19	13,35	12,34	13,1
	Autres	16,49	17,99	11,59	14,06	14,65
Quartile de Revenu	Revenu : Q1	15,19	16,59	11,66	26,96	21,48
	Revenu : Q2	17,46	17,46	9,24	11,1	8,94
	Revenu : Q3	18,05	18,15	13,97	10,63	15,46
	Revenu : Q4	16,73	14,75	9,32	14,77	15,15

Tableau 14 : Valeur du temps estimée dans les transports en commun

Notons que la valeur du temps moyenne est plus élevée lors de l'usage de la voiture particulière que dans celui des transports en commun, ce qui est contraire aux résultats de Truong et Hensher (1985). Cependant, les auteurs ont utilisé des données australiennes lors de cette étude, alors que nous travaillons sur des données franciliennes. En effet, les conditions de trafic routier sont très mauvaises à Paris, alors que le réseau de transports en commun, notamment les métros, y est particulièrement efficace.

L'influence du lieu de résidence sur la valeur du temps est inversée par rapport au tableau précédent ; plus les individus habitent loin de Paris et plus leur valeur du temps dans les transports en commun est élevée. Cela traduit probablement la moindre efficacité des transports publics à mesure que l'on s'éloigne de Paris. Le motif travail est toujours synonyme de valeur du temps élevée (46% plus élevée que la valeur du temps d'un déplacement ayant pour but un loisir). Enfin, remarquons que l'impact du revenu est moins net que précédemment.

3. L'évaluation des coûts de déshorage grâce à un modèle trivarié

a) Remarques

Les résultats du modèle trivarié ne sont pas encore totalement stables à cause de la grande complexité du modèle et de l'estimation. Cependant, nous sommes tout de même en mesure de présenter quelques résultats préliminaires.

Nos résultats sont donnés en euros/minute Une valeur en euros par heure n'aurait pas une grande signification d'un point de vue intuitif, les individus considérant leur retard ou avance en minutes, et une heure constitue une mesure trop large pour ces paramètres[26].

[26] L'ensemble de ces éléments sera étudié de manière plus approfondie courant 2012, en vue de la rédaction d'un rapport pour le CAS (Centre d'Analyse Stratégique). L'objectif de ce travail sera d'étudier la manière dont les praticiens doivent prendre en compte le coût de déshorage dans le cadre d'une analyse coûts / bénéfices.

b) Distribution des valeurs du temps

Dans le Tableau 15, nous montrons les intervalles choisis implicitement par les répondants.

Valeur du Temps	Premier intervalle	Second intervalle	Troisième Intervalle	Quatrième intervalle	Total
$\boldsymbol{\alpha_i}$	723 (26,73%)	846 (31,28%)	505 (18,67%)	631 (23,33%)	2705
$\boldsymbol{\beta_i}$	1111 (41,07%)	199 (7,36%)	198 (7,32%)	1197 (44,25%)	2705
$\boldsymbol{\gamma_i}$	828 (30,61%)	124 (4,58%)	237 (8,76%)	1516 (56,04%)	1705

Tableau 15 : Répartition des valeurs du temps et des coûts de déshorage

Si le répondant est dans le premier intervalle, alors sa valeur du temps est faible. S'il est dans le quatrième, elle est élevée. La répartition de la population dans les intervalles de α_i est assez uniforme, alors que celle de β_i et γ_i est concentrée dans les extrêmes.

c) Premières estimations

En euros/minute		$\boldsymbol{E(\alpha_i)}$	$\boldsymbol{E(\beta_i)}$	$\boldsymbol{E(\gamma_i)}$
Tous		0,281	0,147	2,727
Lieu de résidence	Paris	0,285	0,154	1,447
	Petite couronne	0,274	0,182	4,130
	Grande couronne	0,275	0,117	1,868
Catégorie socioprofessionnelle	Cadres	0,295	0,168	0,751
	Professions intermédiaires	0,289	0,218	20,515
	Employés et Ouvriers	0,266	0,199	2,923
	Autres	0,284	0,117	1,868
Quartile de Revenu	Revenu : Q1	0,248	0,135	2,265
	Revenu : Q2	0,284	0,194	7,877
	Revenu : Q3	0,301	0,413	32,347
	Revenu : Q4	0,300	0,218	1,159

Tableau 16 : Valeurs du temps estimées (E(x) =espérance de x)

Nous utilisons des espérances, car ces résultats sont les moyennes des distributions estimées des coefficients. Nos résultats sont cohérents avec les travaux de Small (1982). Comme cela est supposé dans la théorie microéconomique, nous trouvons que la plupart du temps : $E(\beta_i) < E(\alpha_i) < E(\gamma_i)$.

Le coût de déshorage en avance représente environ la moitié de la valeur du temps, alors que le coût de déshorage en retard est environ 10 fois supérieur. Cela signifie qu'un individu, lorsqu'il est en avance, est prêt à arriver deux minutes plus tôt que son horaire préféré d'arrivée pour raccourcir son temps de trajet d'une minute, et qu'au contraire, lorsque cet individu est en retard, il est prêt à rallonger son temps de trajet de 10 minutes supplémentaires pour pouvoir arriver 10 minutes plus tôt.

V. Tarification du transport dans la région Ile-de-France

Depuis les travaux de Dupuit (1844-1962), les ingénieurs et économistes français ont compté parmi les plus importants promoteurs de l'efficacité de la tarification et du financement des infrastructures publiques et notamment des infrastructures de transport. Les contributions théoriques remarquables à ce propos incluent les travaux de Boiteux (1949) sur la tarification des pics de congestion, et une série d'articles de Levy-Lambert (1968), Marchand (1968) et Bertrand (1977) sur la tarification de second rang des transports lorsque les routes ou les transports ne peuvent pas être tarifés au coût marginal (la tarification de premier rang). Les travaux de Boiteux ont aidé à la mise en place du Tarif Vert (une tarification de l'électricité moins élevée dans les heures en dehors des pics de consommation) par EDF dans les années 1950. Plus tard, ce principe de tarification horaire selon les pics fut introduit dans les domaines de la téléphonie, du gaz et de l'aviation civile[27].

Malgré ces avancées théoriques et pratiques, l'histoire de la tarification routière en France est beaucoup plus mitigée. Les péages sur les biens entrant dans les aires urbaines ont été abolis lors de la Révolution Française afin d'assurer un libre usage et l' « égalité entre les citoyens »[28]. Mais face aux besoins croissants de fonds pour construire le réseau routier français, une loi a été promulguée en 1955[29]. Celle-ci autorise la mise en place de péages sur les autoroutes à condition qu'il existe une autre option qui demeure gratuite.

Au début des années 1990, la France met en place une tarification de la congestion sur une liaison inter-cités. L'autoroute A1 reliant Paris à Lille était congestionnée les dimanches lorsque les Parisiens rentraient chez eux en début de soirée. Une expérience fut menée en ce sens, elle consistait à augmenter le tarif du péage de 25% durant le pic du dimanche après-midi/début de soirée, et de le diminuer de 25% plus tôt dans l'après-midi et plus tard le soir. Cette expérience a été bien accueillie à la fois par le monde politique et le public. De plus, cette tarification a été un succès puisqu'elle a permis de lisser les flux le dimanche, démontrant dès lors toute la pertinence d'une tarification de la congestion variable au cours de la journée, ce qui conduit les voyageurs à ajuster leurs horaires de voyage.

Etant donné les contributions théoriques de tarification efficace qui y ont été produites[30] et les succès de la tarification des routes inter-cités, on aurait pu espérer que la France devienne aussi un acteur majeur dans la tarification des routes urbaines, particulièrement depuis que la congestion et la pollution soient devenues des problèmes majeurs dans les grandes villes françaises. Mais cela n'a pas été le cas. Une loi a autorisé les péages urbains dès 1986. Comme pour les autoroutes la motivation principale était de garantir des fonds pour investir dans l'amélioration du réseau urbain confronté à une demande toujours plus grande. De plus, la législation a autorisé la mise en place de péages sur les nouvelles structures, et plus seulement sur les structures existantes. Mais il n'y eut que très peu de mise en pratique de cette loi. A proximité de Paris, les seules routes à péage sont l'autoroute A1 près de Roissy et l'autoroute A14 à l'ouest. Lyon, la seconde plus grande ville de France, est un bon exemple des difficultés rencontrées lors de la mise en place de la tarification des routes urbaines en France. Le segment tarifé du Boulevard Périphérique Nord a été ouvert à Lyon en

[27] Gómez-Ibánez, J-A., et K.A. Small, (2004).
[28] Voir Raux, C., et S. Souche, (2004).
[29] Loi n° 55-435 du 18 avril 1955 portant statut des autoroutes
http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006068147etdateTexte=20110518
[30] Anderson, S., et R. Renault, 2005 et 2011.

1997. Le contrat avec l'opérateur privé stipulait que la capacité de l'option gratuite devait être réduite afin d'assurer un trafic suffisant sur ce segment à péage et d'équilibrer les comptes. Mais les automobilistes s'élevèrent vivement contre ce nouveau péage et les restrictions qu'il entrainait, organisant des manifestations. Les pouvoirs publics furent contraints de restituer à la route gratuite sa capacité initiale et de diminuer le montant du péage ainsi que la longueur du segment tarifé. La concession a été de fait annulée (de manière légale) et ce segment est maintenant géré par un organisme public[31].

Malgré les expériences françaises en matière de tarification routière, il n'en reste pas moins que de hauts obstacles légaux et d'acceptabilité à la tarification des routes urbaines en France persistent[32]. Il existe une résistance publique et politique assez répandue contre les péages sur les routes urbaines, bien que les péages soient devenus courants sur les autoroutes inter-cités pour lesquelles la congestion n'est que rarement un problème. De plus, malgré les avancées faites dans la théorie et la pratique de la tarification au coût marginal, Delons (2004) remarque que les fondations théoriques générales de la tarification routière restent mal connues par le public ou les décisionnaires. Par cela, il fait référence à une barrière « culturelle ». Il serait dangereux d'affirmer que le succès rencontré par le péage urbain londonien laisse présager une réussite semblable dans le cas de Paris.

L'objectif de cette recherche PREDIT est d'explorer des nouvelles pistes pour la tarification des transports à Paris. La région Parisienne connait des problèmes croissants de congestion routière et les transports publics approchent également leurs limites de capacité. Face à des problèmes de congestion, deux types de réponses sont possibles : augmenter la capacité ou adapter le système de tarification. Dans cette étude on n'étudie que la réforme de la tarification.

Londres et Stockholm ont montré qu'une politique de péage pour la circulation urbaine dans des grandes métropoles est techniquement faisable, peut trouver une majorité *ex post* et générer un bénéfice net. De Borger et Proost (2011) montrent que, face à une réforme comme l'introduction d'un péage urbain, on peut obtenir une majorité ex ante contre le péage mais une majorité *ex post* en faveur. Un des principaux facteurs explicatifs est l'incertitude des coûts du report modal. Pour certains automobilistes ce report modal n'est pas difficile, pour d'autres il l'est bien. Si on redistribue les recettes du péage à tout le monde, y compris les non automobilistes, les automobilistes perdent en moyenne. Aussi longtemps que les automobilistes ne savent pas s'ils sont dans la catégorie qui peut aisément changer de mode, ils vont se baser sur le résultat moyen, qui est négatif. Ceci implique aussi qu'il sera difficile de trouver une majorité ex ante pour un référendum, parce que les automobilistes votent tous sur la base du résultat moyen qui pour eux est négatif. Dans les cas de Londres et de Stockholm, on a donc eu besoin d'un pouvoir politique qui décide de l'implémentation (provisoire) du péage sans vote explicite ex ante. Une deuxième caractéristique de ces deux expériences est qu'une partie des recettes du péage était réservée pour une amélioration ou réduction du tarif des transports publics. Selon De Börger et Proost ce deuxième facteur est important pour l'acceptabilité politique pour deux raisons. Premièrement, parce qu'il permet de réaliser le transfert modal nécessaire avec un péage plus faible et donc une opposition moindre de la part des automobilistes. Deuxièmement, parce que l'utilisation des recettes étant hypothéquée, les électeurs sont plus sûrs de l'utilisation des charges supplémentaires qui leur sont imposées.

[31] Raux, C., et D. Souche, (2004).

[32] Ces barrières peuvent être le reflet des traditionnels sentiments français pour la Liberté et l'Egalité.

Dans ce travail, nous explorons le péage urbain et la réforme de la tarification des transports privés et publics. Une analyse complète d'une telle réforme requiert une mobilisation d'efforts de modélisation en matière de transports privés et publics. Notre étude est moins ambitieuse, elle se limite à explorer les conséquences possibles de différents scénarios de réforme de la tarification des transports privés et publiques à Paris. Une hypothèse importante dans les travaux présentés ici est que la localisation des ménages et des entreprises reste inchangée. Il s'agit donc d'une analyse de moyen terme. Dans le cadre d'un modèle monocentrique, nous analysons cependant l'impact de la tarification sur la localisation résidentielle.

Nous utilisons deux types d'approche dans notre étude.

Dans la première approche, nous nous concentrons sur la tarification des transports publics et on utilise un modèle très agrégé pour comparer l'efficacité des prix des transports publics à Paris et Londres. Une des conclusions importantes est que le taux élevé de subvention des coûts d'exploitation des transports publics à Paris est en partie largement justifié par la tarification insuffisante des externalités des voitures privées.

Dans une deuxième approche, nous nous attaquons précisément à cette tarification insuffisante de l'utilisation des voitures privées. Nous utilisons un modèle de réforme de la tarification et de la taxation pour étudier les conséquences de différents scénarii de réforme de la tarification des transports privés et publics. Le modèle distingue quelques zones types, plusieurs classes socio-économiques et un réseau très succinct pour les transports privés et publics. Ce modèle simple permet de tester l'incidence budgétaire et les effets sur différents groupes socio-économiques de différentes alternatives de tarification.

Ce chapitre est organisé comme suit. La première partie discute plus en détail la comparaison entre la tarification des transports publics à Londres et à Paris. La deuxième partie expose les hypothèses et résultats obtenus avec la seconde approche. La dernière partie présente les résultats préliminaires d'une étude en cours.

A. Un modèle agrégé pour la tarification optimale des transports publics

Le transport public est presque toujours déficitaire et nécessite une intervention publique pour son fonctionnement. Cette fonction est assurée en France par une autorité organisatrice qui représente les collectivités territoriales. Une question qui se pose naturellement dans ce contexte est de savoir si la subvention du transport collectif urbain est efficace ou s'il est possible de la réduire.

Cette question a fait l'objet du travail de Parry et Small (2009). Les auteurs ont développé un modèle agrégé de transport urbain tenant compte du transport particulier (voiture) et du transport collectif (bus et modes ferrés). Ce modèle tient compte à la fois des coûts financiers mais aussi des coûts externes comme la congestion et la nuisance à l'environnement. Le modèle est calé par ces auteurs sur les observations dans trois grandes agglomérations : Washington, Los Angeles et Londres.

Le principal résultat de cette analyse suggère que les subventions accordées au transport urbain collectif sont souvent bénéfiques à la collectivité et améliorent le bien-être dans chacune de ces villes.

Nous avons cherché dans cette étape à appliquer le modèle de Parry et Small sur la région parisienne afin d'évaluer l'impact des subventions accordées au secteur du transport urbain collectif. Notre travail a consisté principalement à alimenter le même modèle analytique par des données de la région parisienne. Etant donné les spécificités des villes européennes, nous nous sommes limités à une comparaison entre la région parisienne et la ville de Londres. Avant de passer à une comparaison chiffrée des transports publics dans les deux villes, nous décrivons brièvement le modèle utilisé pour calculer les effets sur le bien-être d'une modification de la tarification des transports publics.

1. Le modèle

Le modèle ne considère qu'une zone unique qui est homogène. Il y a deux périodes dans la journée : période de pointe (30% de la durée totale) et période hors pointe (70% de la durée totale). Les individus ont le choix entre un mode de transport privé (la voiture) et deux modes publics, bus et train. Ce dernier regroupe le métro et les trains de banlieue.

Le modèle calcule l'effet sur le bien-être d'une baisse marginale du tarif des transports publics. Cet effet de bien-être est la somme d'effets induits par la baisse du tarif des transports publics.

L'effet sur le bien-être est la somme de quatre types d'effets que nous décrivons pour le cas d 'une diminution du tarif du rail en pointe. La diminution du tarif du rail va engendrer un changement dans les volumes de transports pour les différents modes. Ce sont ces changements de volumes qui vont avoir des effets sur le niveau de bien-être de l'économie globale. Nous suivons Parry et Small (2009) pour décomposer l'effet total en quatre effets

a) Différence coût marginal et prix

La différence entre le coût marginal et le prix est définie comme : *{le prix payé par l'utilisateur - coût marginal d'offrir une place sur le rail en période de pointe} x Changement du nombre des passagers en rail en pointe induite par la baisse du prix.*

Ceci est une des règles de base de l 'efficacité en économie : aussi longtemps qu'un bien est vendu en dessous de son coût marginal, sa valeur pour le consommateur est plus faible que le coût de production et il faut en principe éviter d'encourager la consommation de tels biens.

b) Effet d'échelle

L'effet d'échelle est défini comme : *{Bénéfice marginal du rendement d'échelle – coût marginal due à la congestion accrue sur le rail en pointe} x Changement du nombre des passagers sur le rail en pointe induite par la baisse du prix.*

En transports publics, une augmentation du nombre de passagers se traduit par une fréquence accrue (effet de Mohring), ce qui réduit le temps d'attente. En plus pour certains modes on peut s'attendre à des routes plus denses. Ceci est un bénéfice. L'augmentation de la fréquence est en général moins que proportionnelle à l'augmentation des nombre de passagers et il est donc possible qu'elle induise un effet négatif d'encombrement.

c) Effet sur les externalités

L'effet sur les externalités est défini comme : *{Coût marginal externe de pollution, de congestion et d'accidents pour les voitures – la taxe sur l'essence} x Diminutions du nombre des passagers en voiture en période de pointe induite par la baisse du prix du rail.*

Souvent, la voiture possède des coûts marginaux externes qui sont supérieurs à la taxe à l'essence : il s'agit d'un bien dont il faut diminuer la consommation. La baisse du prix du rail en période de pointe génère un effet de substitution de la voiture par le rail.

Cet effet existe aussi pour l'utilisation de la voiture hors pointe. Ce type d'usages peut aussi être substitué par le rail en période de pointe.

d) Effets sur les autres modes publics

Les effets sur les autres modes publics sont définis comme : *{Prix payé par l'utilisateur du bus - Coût marginal d'offrir une place dans le bus - Perte de rendement d'échelle pour le bus + Gain due à la réduction de congestion dans le bus + Gain due à la réduction des effets externes de pollution de l'air et de la congestion du bus} x Changement du nombre des passagers en rail en pointe induite par la baisse du prix.*

Cet effet existe aussi pour les bus hors période de pointe.

Ces 4 effets peuvent être calculés pour le rail (métro) en période de pointe et hors période de pointe et pour le bus en période de pointe et hors période de pointe. Le calcul des effets d'une modification marginale de la tarification s'effectue en deux étapes. Dans une première étape, on calcule l'effet d'une modification dans la situation actuelle. Dans une deuxième étape, on extrapole les résultats et calcule le niveau optimal de subvention des coûts d'exploitation.

2. Données de base pour Paris – Londres

Nous avons retenu, pour la comparaison, Londres car cette ville offre au niveau urbain plus de similitude avec Paris que les métropoles nord américaines (relativement plus étalées, et dans lesquelles l'usage du transport public est moins fréquent). Les principales données nécessaires à ce travail concernent les transports publics. Nous avons principalement utilisé les rapports annuels du STIF (2008) et de la RATP. Certains paramètres ont dû être calibrés. Dans ce cas, nous nous sommes inspirés des ordres de grandeurs utilisés par Parry et Small (2009) pour Londres. Parce que le modèle est dans l'ensemble relativement simple, on peut facilement tester la sensibilité des résultats aux hypothèses utilisées.

Les résultats de Parry et Small (2009) concernent la situation à Londres en 2002 (avant l'introduction du péage). Pour Paris les données concernent la période 2005-2008. Les zones géographiques couvertes par les statistiques de Paris et de Londres ne sont pas entièrement comparables.

Le Tableau 17 fournit une vue synthétique des données pour Paris et Londres. La première partie du tableau concerne les deux modes publics (ferrés et bus). La deuxième partie du tableau concerne les déplacements automobiles. Le lecteur notera que les données pour Londres sont les données en $ cent et par mile comme rapportées dans Parry et Small. Les données et résultats pour Paris sont exprimées en € cent et par kilomètre.

a) Données d'utilisation et de coût d'exploitation des transports publics

Les premières lignes du tableau concernent les volumes de déplacements. Les différences entre les deux métropoles concernent d'abord les modes de transport publics. Sur la région parisienne le mode ferré (métro+train) occupe une place particulièrement importante, alors qu'à Londres le mode bus est plus important. Le taux d'occupation des véhicules est le résultat d'une division du nombre des passagers par la capacité du matériel roulant utilisé. Les taux d'occupation sont plus importants pour le rail à Paris, ce qui est notamment dû à l'utilisation de véhicules à plus grande capacité.

Par véhicule kilomètre, les coûts d'exploitation moyens sont comparables entre Paris et Londres. Dans les deux villes, nous trouvons des coûts par véhicule plus importants pour le rail que pour les bus. Aussi les coûts en période de pointe sont plus élevés. Ceci s'explique par un coût en personnel plus élevé (par hypothèse 25% en plus), et par le fait que le coût de capital des véhicules est entièrement attribué à la période de pointe. En effet c'est la période de pointe qui dicte les besoins en capacité et donc détermine les coûts de capacité. Finalement pour les bus, la vitesse moyenne par kilomètre est plus faible en période de pointe.

Par passager kilomètre, les coûts d'exploitation moyens sont plus semblables entre les périodes de pointe et hors pointe. Ceci s'explique par le taux d'occupation plus élevé en période de pointe.

Le coût de l'offre d'une place passager supplémentaire (le coût « marginal ») est plus faible que le coût moyen par passager. La raison est qu'une partie des passagers supplémentaires vont se retrouver, en pratique, dans les véhicules existants. En principe ceci nécessite un calcul d'optimisation entre temps d'attente, coûts d'encombrement et coût d'un véhicule supplémentaire. Ici nous avons suivi le calcul de Parry et Small (2009) et supposé que 66,6% des passagers kilomètres supplémentaires sont satisfaits par des véhicules supplémentaires et donc que 33.3% des passagers se trouveront dans les véhicules existants.

La ligne suivante correspond au tarif voyageur par kilomètre. Dans le cas de Paris, il s'agit d'un prix moyen calculé par le rapport entre recettes et nombre de passagers kilomètres. On note que le prix moyen pour les voyageurs est plus ou moins la moitié du prix à Londres.

Le rapport entre la recette moyenne par passager km et le coût moyen par passager km donne le taux de subvention pour les différents modes et les différentes périodes. Nous constatons que le taux de subvention est du même ordre de grandeur à Paris et à Londres.

b) Les prix généralisés du transport public

Les lignes suivantes du tableau servent à calculer le prix généralisé des différents modes de transport. Le prix généralisé est la somme du prix monétaire, du coût du temps dans le véhicule, du

coût d'attente, du coût d'accès et du coût d'encombrement. On utilise les mêmes valeurs du temps qu'à Londres et ces valeurs diffèrent selon le mode et selon la période. Le coût d'attente est proportionnel à la fréquence lorsque la fréquence est d'au moins un véhicule tous les quarts d'heure. Pour les fréquences plus faibles, on suppose que les voyageurs se servent des horaires dans leur choix et donc que le temps d'attente n'est plus proportionnel à la fréquence. On constate que le coût généralisé par km est plus élevé pour le bus que pour le rail et le métro. Ceci s'explique principalement par le temps d'attente et la vitesse commerciale plus faible du bus.

c) Les effets d'échelle et les effets externes des transports publics

Les deux lignes suivantes représentent les effets d'échelle et d'encombrement marginal qui sont associés à une augmentation du nombre de voyageurs. En effet une augmentation du nombre de voyageurs se traduit par une augmentation de la fréquence et donc par une diminution du temps d'attente. Cet effet d'échelle n'est pas important pour le réseau ferré en pointe parce que la fréquence est déjà importante. Mais il s'agit d'un effet important pour la période hors pointe et surtout pour le bus.

Les 4 lignes suivantes représentent les coûts externes de chacun des modes de transport utilisés. Les coûts externes les plus importants sont le coût externe de congestion pour le bus et le temps d'arrêt marginal dans les gares.

d) Hypothèses sur les transferts modaux

Finalement, nous avons besoin de la réaction de la demande à une modification des tarifs des transports publics. Nous utilisons les mêmes valeurs que Parry et Small (2009). Etant donné l'importance de certains paramètres, nous procéderons à une analyse de sensibilité. Le modèle utilise une élasticité de prix directe (augmentation en % du nombre de voyageurs d'un mode quand le prix de ce mode baisse légèrement). Les valeurs sont plus faibles (-0.24 rail et -0.40 bus) pour la pointe que pour la période hors pointe (-0.48 et -0.80) parce qu'en pointe il s'agit souvent de déplacements domicile travail avec moins de flexibilité.

Le but d'une diminution de prix est d'encourager les utilisateurs des modes dont le coût marginal social (coût de ressource + coût externe) est plus grand que le prix payé par l'utilisateur pour utiliser un mode pour lequel le prix est plus aligné sur le coût. Parry et Small (2009) utilisent des coefficients de répartition (ou de transfert modal) pour analyser les effets de substitution d'une baisse de prix pour un mode de transport public. On a pris les mêmes hypothèses que Parry et Small (2009). Ainsi, si une diminution du prix du rail en période de pointe correspond à 100 voyageurs supplémentaires, 50 proviendraient de la voiture, 10 proviendraient du rail mais de la période hors pointe, 30 proviendraient des autres modes de transport publics dans la même période et finalement 10 voyageurs seraient nouveaux. En période hors pointe, il y a moins d'utilisateurs de la voiture qui sont substitués.

Le paramètre clé est la part des voyageurs qui proviennent de la voiture (respectivement 50% et 40%). Les hypothèses de Parry et Small (2009) sont très optimistes à cet égard et nous analyserons leur rôle dans une analyse de sensibilité.

e) Les coûts externes de l'utilisation de la voiture

Le deuxième tableau nous montre l'utilisation de la voiture et dans quelle mesure le coût marginal externe est couvert par la taxe sur les carburants automobiles. Nous retrouvons une utilisation plus

intense de l'automobile à Paris qu'à Londres. Le coût marginal externe est difficile à estimer, surtout le coût marginal externe de congestion. En utilisant ce modèle, et les données pour la région parisienne, on obtient des estimations comparables à celles de Londres. Les coûts externes de pollution et d'accident sont plus ou moins couverts par les taxes sur les carburants. Le résultat net est un coût marginal externe net qui est surtout important en période de pointe.

	Paris (euro cent et km)				Londres (dollar cent et mile)			
	Modes ferrés		Bus		Modes ferrés		Bus	
	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe
Passagers km, millions	6582	2521	989	670	3 302	1 265	2 115	1 432
Occupation des véhicules (pass-km/veh-km)	321	176	23	15	138	76	17	12
Coût de fonctionnement moyen €/ veh-km	96	68	8	3	105	68	8	4
Coût de fonctionnement moyen, centimes/pass-km	30	39	35	22	76	89	47	33
Coût de l'offre marginale, centimes/pass-mi	18	23	23	15	46	54	32	22
Tarif, centimes/pass-km	11	11	11	11	25	25	20	20
Subvention, % du coût moyen de fonctionnement	65	73	69	51	67	72	59	40
Valeur du temps (dans le véhicule), centimes/pass-km	32	24	46	29	42	31	67	43
Coût d'attente, centimes/pass-mi	5	14	18	53	7	22	22	64
Prix généralisés, centimes/pass-km	55	66	106	159	93	105	146	207
Economie d'échelle marginale, centimes/pass-mi	3	10	12	35	5	15	15	43
Coût d'encombrement marginal, centimes/pass-km	1	0	5	0	5	0	5	0
Coût marginal externe du Transport public, centimes/pass-km	0,9	1,0	21,0	13,3	0,8	0,9	36,4	24,7
Coût marginal de congestion, centimes/pass-km	0,0	0,0	18,2	11,3	0,0	0,0	33,5	22,0
Coût de pollution, de climat et d'accidents, centimes/pass-km	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,9
Coût marginal d'arrêt en station, centimes/pass-km	0,9	1,0	2,5	1,9	0,8	0,9	2,2	1,8
Elasticité prix de la demande	-0,24	-0,48	-0,40	-0,80	-0,24	-0,48	-0,40	-0,80
Part du trafic supplémentaire en TC provenant de :								
Auto-même période	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40
Même TC-autre période	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Autre TC – même période	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Augmentation globale de la demande	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20

AUTO

	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe
Passagers-km Annuels, millions	21978	20017	15 450	13 951
Taux d'occupation	1,10	1,20	1,41	1,53
Coût marginal externe, centimes/pass-km	109	41	119	48
Coût marg de congestion, centimes/pass-km	113	43	123	49
Coût marg. de poll. et acc. Nets des taxes carburant-TIPP, centimes/pass-km	-4	-2	-4	-2

Tableau 17 : Données de base pour le transport à Paris et à Londres

3. Les effets de bien-être d'une légère modification de la tarification des transports publics

En utilisant le modèle et les hypothèses décrites ci-haut, nous pouvons calculer les effets de bien-être d'une légère baisse des prix du transport public au niveau des subventions et des prix actuels. Dans le Tableau 18, la première ligne indique le niveau actuel de la subvention en pourcentage du coût d'exploitation pour les différents modes et selon les deux périodes de la journée. L'impact marginal d'une variation de la subvention est donné par la ligne suivante.

Le résultat est l'effet en équivalent monétaire et par passager kilomètre de ce mode d'une baisse d'un Euro cent. Selon le premier résultat (1.30 € centime), une baisse du prix du rail de 1 € centime en période de pointe augmente le bien-être social de 1.30 € centime pour chaque passager km de rail en période de pointe. Cette valeur est positive, il y a un effet positif sur le bien-être social. Les baisses de prix les plus bénéfiques sont celles pour les voies ferrées en pointe et pour le bus hors pointe. Paris et Londres présentent les mêmes signes mais des ordres de grandeur différents.

	Paris				**Londres (dollar cent et mile)**			
	Modes ferrés		Bus		Modes ferrés		Bus	
	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe	Pointe	Hors pointe
Subvention actuelle en % du coût de fonctionnement	65	73	69	51	67	72	59	40
Effet sur surplus social marginal								
Centimes d'€ de bien-être par passager-km	**1,30**	**0,07**	**0,95**	**2,54**	**0,49**	**-0,07**	**0,52**	**1,76**
Coût marginal – prix	-0,18	-0,75	-0,29	-0,12	-0,20	-0,92	-0,25	-0,09
Effet d'échelle net	0,04	0,49	0,23	2,23	0,00	0,36	0,19	1,74
Externalité	1,25	0,82	1,00	0,19	0,57	0,48	0,48	-0,23
Effets sur les autres modes de transport public	0,19	-0,49	0,00	0,23	0,13	-0,08	0,10	0,34
Centime d'€ de bien-être par passager-km à 50% de subvention	**1,14**	**0,26**	**0,88**	**2,88**	**0,46**	**0,20**	**0,51**	**1,90**
Subvention optimale en % du coût de fonctionnement	>90	82	>90	>90	>90	78	>90	>90
Part de la subvention provenant de								
Différence entre coût marginal et coût moyen	0,17	0,52	0,25	0,26	0,31	0,56	0,35	0,33
Economie d'échelle nette	0,02	0,28	0,12	0,58	0,00	0,21	0,15	0,61
Externalités	0,70	0,49	0,62	0,07	0,56	0,27	0,42	-0,11
Autres TC	0,11	-0,29	0,00	0,09	0,13	-0,04	0,09	0,17
% variation en passagers-kilomètres	19,0	7,9	60,8	196,3	21,6	10,7	42,2	149,1

Tableau 18 : Subvention optimale pour les transports publics à Paris et à Londres

Les effets de bien-être sont chaque fois une somme de quatre effets. Ces effets sont détaillés dans le tableau 18. Pour tous les modes, le prix ne couvre pas le coût marginal de production. La première ligne est donc négative pour tous les modes et périodes. En particulier, le prix de revient des passagers hors pointe des voies ferrés semble élevé.

L'effet d'échelle net est surtout important pour le bus hors pointe parce qu'il y a un potentiel important pour augmenter la fréquence et réduire les coûts d'attente dans cette période. Cet effet est amplifié par l'élasticité plus élevé (-0.8) pour le bus hors pointe.

Pour les modes ferrés et pour le bus en pointe, on trouve un effet positif important de la réduction des externalités. Il s'agit surtout de la substitution de passagers-kms en voiture associé à un coût externe de congestion important. Finalement il y a les effets de substitution entre modes de transport publics, ces effets sont souvent moins importants parce que la plupart (40 à 50%) des nouveaux passagers viennent du mode automobile ou du même mode (10 à 20%).

En conclusion, les effets dominants sont la substitution du mode voiture en période de pointe et les effets d'échelle pour le bus en période hors pointe.

4. Les effets de bien-être de modifications importantes de la tarification des transports publics

Imaginons une baisse des subventions jusqu'à niveau de 50% des coûts d'exploitation. A ce niveau de subvention, la différence entre les tarifs et le coût de production marginal est plus faible mais les effets bénéfiques d'une diminution des tarifs deviennent plus grands pour certains modes de transport public (indiqué sur la septième ligne au milieu du tableau 18).

Un deuxième exercice consiste à optimiser le degré de subvention pour les différents modes de transport public. Les calculs conduits sur les deux métropoles montrent que, à l'exception du mode ferré en dehors des heures de pointe, les subventions optimales se situent à un niveau plus élevé que 90% du coût d'exploitation. Cela justifie l'apport financier à ce secteur mais appelle aussi des réformes de la politique du péage du transport routier.

En effet une grande partie de la justification de la subvention des coûts opérationnels provient de l'impact sur les externalités de congestion dans le mode automobile. Si on tarifait ce mode plus correctement, par exemple en appliquant un péage de cordon ou par zone, on pourrait diminuer les subventions aux transports publics. Seules les subventions pour le mode bus hors pointe sont justifiées par les économies d'échelle.

La dernière ligne de ce tableau fournit la variation, en pourcentage des passagers-kilomètres induits par la subvention optimale. Ces chiffres, tous positifs, sont plus importants pour le mode bus car les valeurs actuelles sont plus faibles et que ce mode présente un potentiel important notamment en dehors de la période hors pointe. Le potentiel des modes ferrés apparaît principalement pendant la période de pointe. Par rapport à Londres, Paris semble avoir des marges pour le mode bus et moins de marge pour le mode ferré qui est déjà à un niveau d'exploitation élevé.

5. Analyse de sensibilité

Parry et Small (2009) ont effectué des analyses de sensibilité par rapport à différents paramètres du modèle. Ainsi ils trouvent, par exemple, que lorsque les élasticités prix de la demande au transport sont plus élevées, l'impact sur le bien-être devient plus important mais ne change pas de signe. Les

analyses confirment ainsi un certain nombre d'intuitions comme le fait que la valeur du temps d'attente a un impact important en ce qui concerne le mode bus en dehors de l'heure de pointe, et ce à travers les effets d'économie d'échelle.

Pour Paris, on s'intéresse principalement aux paramètres qui reflètent les transferts de modes. En effet, une hypothèse clé dans ce travail est que les variations de tarifs dans le transport public ont un impact important sur le mode voiture : 50% (respectivement 40%) des passagers supplémentaires viennent de la voiture pour prendre le rail (respectivement bus). Ces valeurs ne résultent pas d'observations empiriques précises mais plutôt, comme Parry et Small (2009) le mentionnent, de jugements des auteurs eux mêmes. Il est donc utile d'inspecter dans quelle mesure les recommandations au niveau de la politique de transport mentionnées ci-dessus restent valables lorsque les paramètres du transfert modal varient. Des études ponctuelles sur des projets de transport publics à Paris émettent un doute sur le transfert modal[33]. Le tableau suivant donne la subvention optimale pour les voies ferrées en période de pointe lorsque le ratio qui indique la part du report modal de la voiture vers le transport collectif varie de 50% à 20%.

Ratio de report modal Auto vers transport collectif	Subvention optimale pour les voies ferrées en pointe montant en % du coût d'exploitation
0.50 (Référence)	**>90**
0.40	**82**
0.30	**73**
0.25	**66**
0.20	**< 10**

Tableau 19 : Rôle du report modal dans la subvention optimale

Pour le mode ferré hors pointe et le bus en pointe on trouve de résultats similaires, à l'exception du bus hors pointe. Les subventions de ce dernier mode sont justifiées par les économies d'échelle et cet effet est largement indépendant du ratio de report modal auto vers transport collectif.

Une autre analyse de sensibilité concerne le coût externe de la voiture, qui n'est connu que très approximativement. L'effet d'une diminution du coût externe de la voiture privée est très similaire à une diminution du report modale, comme simulé dans le tableau 19. Aussi dans ce cas, la subvention optimale pour les transports publics sera plus faible.

Une deuxième analyse de sensibilité concerne le coût des fonds publics (noté CFP). Dans les calculs, on a utilisé comme valeur centrale un coût des fonds publics égal à 1. On peut facilement tester l'importance de cette valeur dans le tableau 18 en comparant la deuxième ligne du tableau avec la valeur de référence qui n'est plus 0 (CFP=1), mais serait plutôt 0.15 (CFP=1.15) voire 0.50 (CFP=1.5). Avec une valeur plus élevée du CFP, le taux de subvention devrait avant tout baisser pour les réseaux ferrés hors pointe. Une approche plus correcte consiste à différencier le CFP en fonction des effets du transport sur l'offre de travail.

Une troisième analyse de sensibilité concerne les coûts d'encombrement dans les transports publics. Rappelons que ces coûts sont pris en compte dans le modèle. Le modèle fait un compromis entre le

[33] Nous référons le lecteur à la thèse de Martin Koning (2011) qui trouvait notamment qu'un nouveau tronçon de tramway le long du boulevard périphérique attirait davantage des voyageurs bus et métro et très peu d'automobilistes.

coût du confort nécessaire à un passager supplémentaire par une augmentation de la capacité (rames supplémentaires ou bus supplémentaires) et le coût d'encombrement. Quand on se trouve à la limite physique de la capacité, seule l'option d'encourir un coût d'encombrement supplémentaire peut être utilisée. Ce sujet gagnerait à être élaboré dans des recherches futures.

6. Synthèse et conclusion

Dans ce travail, nous avons étudié la justification du niveau élevé de subventions pour les coûts opérationnels des transports publics à Paris. Nous avons appliqué le modèle de Parry et Small (2009). Il s'agit d'un modèle très agrégé qui permet aussi une comparaison avec Londres (avant le péage introduit en 2003).

Dans ce type de modèles, il y a deux justifications pour un taux de subvention élevé pour les transports publics. Une subvention plus élevée attire des voyageurs supplémentaires vers les transports publics et ceci est en général. La première sont les rendements d 'échelle dans les transports publics : un voyageur supplémentaire permet d'augmenter la fréquence et/où de remplir mieux les voitures ou rames existantes. Cet effet joue d'avantage dans les périodes hors pointe parce que dans les périodes de pointe, la fréquence est déjà élevée et les voitures sont déjà pleines. La seconde raison est le transfert modal des voitures privées dont l'utilisation est insuffisamment tarifiée. Cette justification joue davantage pour les périodes de pointe quand le coût externe de congestion des voitures privées est élevé.

Avec l'ensemble des hypothèses utilisées, nous trouvons que des taux élevés de subvention (50 à 85%) sont justifiés. Ces calculs reposent sur des hypothèses de calcul. Une des principales hypothèses est relative au report modal généré par une baisse des prix des transports publics. Dans le modèle initial de Parry et Small (2009), jusqu'à 50% de ces usagers supplémentaires proviennent du mode automobile. Quand on fait baisser ce taux de transfert modal en dessous de 25%, la justification pour une subvention élevée en période de pointe devient très faible. Il est donc important de relativiser ces conclusions à cet égard. Une étude économétrique ayant l'objectif d'estimer ces paramètres pourrait nous aider à préciser les résultats de ce modèle.

Les résultats pour Paris peuvent aussi être comparés avec ceux obtenus par Proost et Van Dender (2008) pour Bruxelles. Utilisant un modèle moins détaillé pour les transports publics mais plus détaillé pour le transport privé, ils trouvent aussi des taux de subvention élevés pour les transports publics. Ils testent également une autre hypothèse implicite dans le modèle de Parry et Small utilisé ici : le coût des fonds publics. Quand le coût des fonds publics devient plus élevé, les subventions deviennent plus chères et le taux optimal des subventions baisse.

La subvention des transports publics en pointe est principalement justifiée par le transfert modal de voitures privées insuffisamment taxées. Ceci nous amène naturellement à la deuxième approche de ce travail où on analysera une correction de la tarification des voitures privées à Paris.

B. Un modèle plus désagrégé

Dans cette partie nous analysons différentes combinaisons de modifications de la tarification des voitures privées, du transport public et de la taxation du travail. Nous présentons d'abord les principes de modélisation. Ensuite nous décrivons dans une deuxième section l'équilibre de référence qui servira de point de départ pour l'analyse de différents types de réformes. Dans la troisième section, nous présentons les effets d'une modification marginale de la tarification d'un mode ou d'une combinaison de modes. Dans la quatrième section, nous analysons les effets de l'instauration de différents péages qui sont des réformes plus complexes. Dans la cinquième, section nous concluons.

1. Principes de modélisation et hypothèses utilisées

Nous utilisons un modèle classique de l'économie publique du type réforme marginale de la taxation indirecte. Cette technique est documentée dans Guesnerie (1977), Ahmad et Stern (1984) et appliquée au transport dans Mayeres et Proost (2001) et Calthrop, De Börger, Proost (2010). Le grand principe de ce type de modèles est qu'ils considèrent uniquement des réformes qui respectent l'équilibre budgétaire : si on augmente la taxe sur un certain bien X, ceci permettra de diminuer la taxe sur le bien Y. Ceci a deux avantages par rapport à la technique conventionnelle qui consiste à analyser uniquement le changement d'une taxe sur un marché donné et de ne pas considérer explicitement l'utilisation du revenu de la taxe additionnelle. Premièrement, ceci donne une meilleure idée des effets totaux dans l'économie : l'internalisation d'une externalité de congestion sur la route a un effet direct sur le marché du transport privé mais génère aussi un revenu supplémentaire R. L'utilisation de ce revenu R pour une diminution d'une taxe ou l'augmentation d'une subvention sur un autre marché peut avoir des effets importants de bien-être si, sur ce marché, le prix diffère aussi du coût marginal social. On pourrait ainsi générer un effet de bien-être positif si une taxe sur la congestion permet de réduire le taux de taxation sur le travail. Le deuxième avantage de cette technique de calcul est qu'elle permet, en principe, de mesurer l'effet net sur la distribution des revenus. L'effet net d'un péage sur un groupe socioprofessionnel peut dépendre de la consommation du bien taxé mais aussi de la manière dont les revenus de la taxe sont utilisés.

a) Principe de l'analyse de la réforme tarifaire

Considérons 2 biens k et l et deux individus i et j. Les taxes ou subventions unitaires sont τ_k, τ_l, les consommations individuelles sont notées Q_k^i, et les coûts externes marginaux sont notés $MSEC_k$. En plus nous supposons que les prix à la production (et la productivité marginale) restent constants.

Analysons les effets d'une petite modification des taxes sur les biens k et l.

La variation de bien-être collectif quand on attribue le même poids distributif à tous les agents est égal à :

$$dV = \left[\tau_k - MSEC_k\right] dQ_k + \left[\tau_l - MSEC_l\right] dQ_l$$

$$dQ_k = \frac{dQ_k}{d\tau_k} d\tau_k + \frac{dQ_k}{d\tau_l}\frac{d\tau_l}{d\tau_k} d\tau_k$$

$$dQ_l = \frac{dQ_l}{d\tau_k} d\tau_k + \frac{dQ_l}{d\tau_l}\frac{d\tau_l}{d\tau_k} d\tau_k$$

On retrouve que des changements de tarification qui augmentent la consommation de biens qui sont taxés avec une tarification supérieure au coût marginal externe contribue au bien-être social. Considérons le cas d'un péage qui réduit l'utilisation de la voiture en période de pointe, ici le bien noté «k ». Nous faisons l'hypothèse que les revenus de la taxe sont utilisés pour réduire la taxe sur le travail, ici le bien noté «l ». En principe le travail n'a presque pas de coût marginal externe. Le travail est un bien offert par le consommateur.

La quantité du bien k est fonction des prix du bien k et du bien l. Pour savoir quelle sera la baisse de la taxe sur le travail associé à l'introduction d'un péage, nous avons besoin de l'équation de budget du gouvernement. Nous nous plaçons dans un contexte de long terme et travaillons avec l'hypothèse d'un budget de l'Etat en équilibre. L'introduction d'un péage va affecter la consommation du bien k et l'offre de travail mais aussi la consommation de tous les autres biens et donc les recettes fiscales générées par toutes les taxes. Nous avons cependant uniquement besoin de la modification de la taxe sur le bien l ($\frac{d\tau_l}{d\tau_k}$) pour calculer l'effet net sur dQ_k, dQ_l et donc l'effet sur dV .

Un deuxième type de résultat qui nous intéresse est l'effet sur le bien-être individuel. Prenons le cas de l'individu i qui consomme les quantités Q_k^i, Q_l^i . Considérons une petite modification des taxes qui affecte l'externalité E_k (disons la congestion en heure de pointe). La variation de bien-être individuel peut-être mesurée par l'expression suivante :

$$dV_i = Q_k^i d\tau_k + Q_l^i \frac{d\tau_l}{d\tau_k} d\tau_k + \frac{\delta V_i}{\delta E_k} \frac{dE_k}{d\tau_k} d\tau_k$$

Cette expression nécessite la connaissance de la structure de la consommation de l'individu i ainsi que du dommage marginal de l'externalité pour lui. Dans le cas de la congestion ce dommage marginal requiert la connaissance de la valeur du temps.

A part les hypothèses de prix à la production constants et l'équilibre budgétaire du gouvernement nous supposons aussi que les individus ne changent pas de résidence. Notre calcul peut ainsi être vu comme la première étape d'un calcul plus complet avec choix de résidence endogène (cf. de Palma et al., 2012, pour les cas de localisation endogène).

b) Le modèle analytique utilisé

Pour simuler les réformes tarifaires nous utilisons le modèle MOLINO (voir de Palma, Proost, Van der Loo, 2010). Il s'agit d'un logiciel de recherche qui permet de simuler les effets d'une modification des tarifs ou de l'infrastructure pour n'importe quel problème de réseau de transport simplifié. Les avantages de ce modèle sont qu'il utilise un petit nombre de paramètres pour la calibration et qu'il permet des calculs de bien-être simplifiés.

Le modèle décrit un réseau simple avec des origines et des destinations notées « OD ». Pour chaque OD, il y a différents types d'utilisateurs. Les préférences et comportements de chaque utilisateur sont modélisés à l'aide ou bien d'une fonction d'utilité du type « nested CES » (CES emboîté) ou d'une fonction de coût du type « nested CES ». Ces fonctions peuvent être calibrées à l'aide d'un petit nombre de données de quantités et de prix généralisés. Dans les fonctions nested CES utilisées, un voyageur choisit d'abord le nombre de voyages, ensuite s'il veut voyager en pointe où hors pointe et finalement quel mode ou combinaison de modes il veut utiliser. Il y a substitution imparfaite entre

modes, donc ce n'est pas toujours le chemin avec le coût généralisé minimum qui est utilisé. C'est dans la phase de calibration qu'on tient compte des « préférences individuelles » révélées par les choix observés.

Le réseau routier lui même est décrit à l'aide de capacités pour chacun des liens. Les vitesses moyennes sont fonction du rapport entre le nombre d'utilisateurs et la capacité. Pour le réseau ferré on n'a pas modélisé la congestion directement. On a utilisé une représentation indirecte de la congestion en supposant qu'un voyageur supplémentaire en période de pointe requiert une offre supplémentaire associé à un coût marginal. Plus précisément on a utilisé comme coût supplémentaire 0.18 € par passager km pour le rail en pointe et 0.23 € par passager kilomètre pour le bus en pointe.

Chaque utilisateur choisit entre les chemins (combinaisons de liens) qui relient l'OD. Le degré de substituabilité entre chemins est fixé par l'utilisateur. Ceci est un des paramètres dont on testera l'importance.

Une fois que le modèle est calibré sur un équilibre de référence, il est prêt pour des simulations de tarification.

Les deux schémas suivants illustrent le type de configurations simplifiées utilisé pour Paris. Nous considérons une hypothèse de concentricité pour Paris avec comme zones la Grande Couronne, la Petite Couronne et Paris Centre.

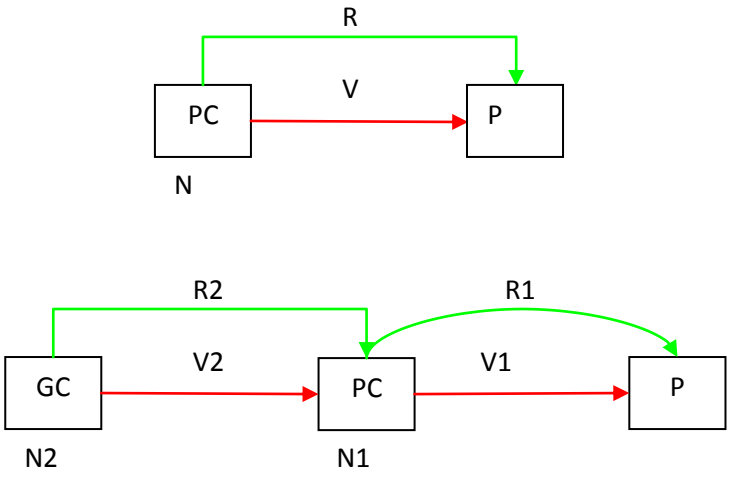

Figure 11 : Modèles désagrégés simplifiés

Dans le premier réseau, il n'y a qu'un type d'utilisateur « N » qui a le choix entre deux modes de transport (Voiture ou Rail) pour aller de la Petite Couronne (PC) au centre de Paris (P).

Dans le deuxième réseau, les chemins constituent une succession de liens. On a deux populations, l'une réside en GC et l'autre dans PC. Imaginons que tous les ménages travaillent à P. Les ménages (N2) habitant à GC ont le choix entre quatre chemins (V2+V1, V2+R1, R2+V1, R2+R2). Les ménages (N1) habitant à PC n'ont que deux chemins, etc. Dans une telle configuration, un péage sur le lien V2 aura comme conséquence directe une diminution de V2, mais comme impact indirect aussi la diminution de la congestion sur V1 qui induira une augmentation de la demande V1 etc.

Dans l'annexe volume 2 C, le lecteur pourra trouver le document illustrant le calcul fait pour décrire ces variations pour le cas d'une mise en place d'un péage sur R2.

Pour mettre notre schéma de calcul en pratique, nous devons détailler quatre éléments : les zones et modes de transport, les classes socio-économiques considérées, les données de coût et la structure actuelle des taxes et subventions en matière de transport en Île-de-France.

c) Choix du réseau, des modes et des classes socio professionnelles utilisés

Nous distinguons *quatre régions* : Paris (P), la petite couronne (PC), la grande couronne(GC) et le reste de la région (O). Cette géographie est dotée d'une infrastructure de transport qui détermine l'offre. Il y a *quatre modes de transport* : voiture, bus, métro et RER, mais leur répartition est variable d'un territoire à un autre. La Figure 12 ci-dessous illustre cette configuration.

Région	**Description**
Paris (P)	Surface : 105 km² Population : 2 193 000 Modes de transport : AUTO ; METRO ; BUS ; RER
Petite couronne (PC)	Trois départements autour de Paris (les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et le Val-de-Marne) Modes de transport : AUTO ; METRO ; RER
Grande couronne (GC)	Les quatre autres départements : la Seine-et-Marne, les Yvelines, l'Essonne et le Val-d'Oise. Modes de transport : AUTO ; RER ; BUS
Zone en dehors de la Grande Couronne (O)	Le trafic qui a comme destination une des trois zones de Paris considérées ou qui utilise une partie de l'infrastructure routière Parisienne pour une destination en dehors de Paris Modes de transport : AUTO ; RAIL-RER, BUS

Tableau 20 : Zones d'Origine et Destination considérées

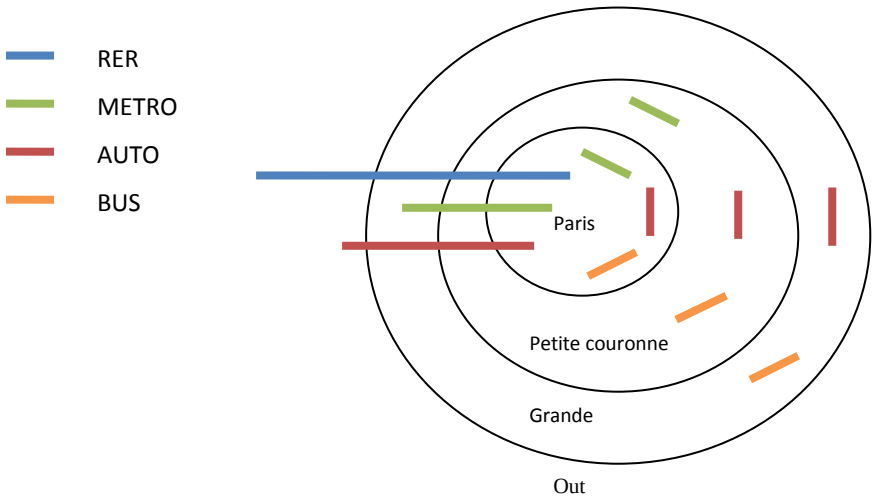

Figure 12 : Territoire et modes de transport

Quelques remarques sur les modes de transport aideront le lecteur :

- **AUTO :** mode qui peut être utilisé pour tout type de déplacement
- **BUS** : mode surtout utilisé pour les déplacements dans la même région (Paris →Paris ; PC →PC ou GC →GC)
- **METRO :** mode utilise pour les trajets dans Paris et entre Paris et la Petite Couronne
- **RER** : mode principalement utilisé pour des déplacements entre les régions GD → PC →Paris.

Il y a quelques restrictions dans cette représentation. On ne tient pas compte du tramway, le bus assure des trajets uniquement à l'intérieur des zones et le RER est utilisé pour des déplacements interzones. Toutefois, ces restrictions ne semblent pas changer de manière significative la pertinence de la représentation. De fait, le mode Tramway n'attire que relativement peu d'usagers et il peut s'assimiler au métro sans grande perte d'information.

L'ensemble des déplacements pris en considération dans notre modélisation est fournie par le Tableau 21. Ce tableau est divisé en deux parties. On y trouve d'abord les déplacements avec un seul mode (voiture, bus, métro, ou train) et ensuite les déplacements avec deux ou plusieurs modes. Dans ce dernier cas, le bus ou la voiture sont généralement utilisés pour accéder aux stations de train ou de RER.

On constate que la voiture est utilisée pour tous les types de déplacements. Le bus est principalement utilisé pour des trajets dans la même région géographique. Pour ce type de déplacement le mode de transport public le plus aisé est le RER (ou le train). Enfin, le métro est le mode le plus utilisé à Paris, il assure aussi une partie des trajets entre Paris et la petite couronne.

Pour les déplacements en deux ou plusieurs modes (inter-modalité), les trajets sont relativement longs. Cela implique donc l'usage du RER (ou Train), combiné avec le bus, le métro ou la voiture. Le trajet entier étant généralement composé en trois parties, le mode léger est utilisé généralement dans la première et dernière partie du trajet, et dans la partie principale l'usager utilise le RER (ou le train). Certains déplacements intermodaux concernent l'usage de la voiture pour une grande partie du trajet et du métro de manière accessoire. Il s'agit des trajets qui partent ou qui arrivent à Paris.

O→D	P→P	PC→P P→PC	GC→P P→GC	PC→PC	GC→PC PC→GC	GC→GC	O→ (.) (.) → O
Un seul mode de transport							
Voiture	X	X	X	X	X	X	X
Bus	X			X		X	
Metro	X	X					
RER							X
Plusieurs modes de transport							
Voiture + bus							X
Voiture + métro		X					
Voiture + RER							
Bus + métro		X					
Bus+RER		X	X		X		X
Metro +RER		X	X				X
Voiture + bus + RER		X	X		X		
Voiture + métro + RER			X				
Bus + métro + RER		X	X				

Tableau 21 : Combinaisons de mode considérées pour les déplacements

On distingue 4 *classes professionnelles* et deux périodes de temps. Il y a deux attributs qui distinguent les usagers. Le premier concerne le revenu et le deuxième est la situation professionnelle. On aboutit à quatre classes qui sont nommées, de manière un peu caricaturale : riche et actif, riche et non actif, pauvre et actif et enfin pauvre et non-actif. Remarquons qu'un individu est identifié comme pauvre s'il occupe un logement social. Ce type de classement est imparfait mais il était imposé par la disponibilité des données (recensement de la population). Notons qu'il y a plus de riches que de pauvres dans notre classement. La perte d'1 € pour un riche représentatif a un impact plus grand que le gain d'1 € pour un pauvre représentatif.

Effectifs	Riche	Pauvre
Actifs	4 550 220	1 552 930
Non actifs	910 043	310 586

Tableau 22 : Les quatre classes professionnelles

Les *deux périodes de temps* sont la pointe et l'hors pointe. Les actifs, en particulier, ont un besoin de déplacement urgent pendant l'heure de pointe. Pendant cette période, l'encombrement dans le transport public est élevé ainsi que la congestion sur les routes.

Nous effectuons les calculs pour une demi-journée. La période de pointe pendant laquelle le trafic atteint les niveaux les plus importants, s'étale sur une longueur de trois heures par jours et la période hors pointe s'étale sur quatre heures. Ainsi on considère quatorze heures d'activité pendant la journée. Cela correspond, pour une journée entière, à six heures de pointe et huit heures hors pointe. Remarquons que cela nous donne un total de quatorze heures. Les dix autres heures d'une journée complète (de 24 heures) ne sont pas prises en considération directement. Mais comme le calibrage est effectué sur les flux annuels de transport, ces derniers sont implicitement répartis sur les deux périodes. Ces hypothèses semblent justifiées par le fait que le volume des déplacements pendant les heures tardives n'est pas important.

Le réseau utilisé, ainsi que la notation pour les différents liens est donnée par le diagramme suivant :

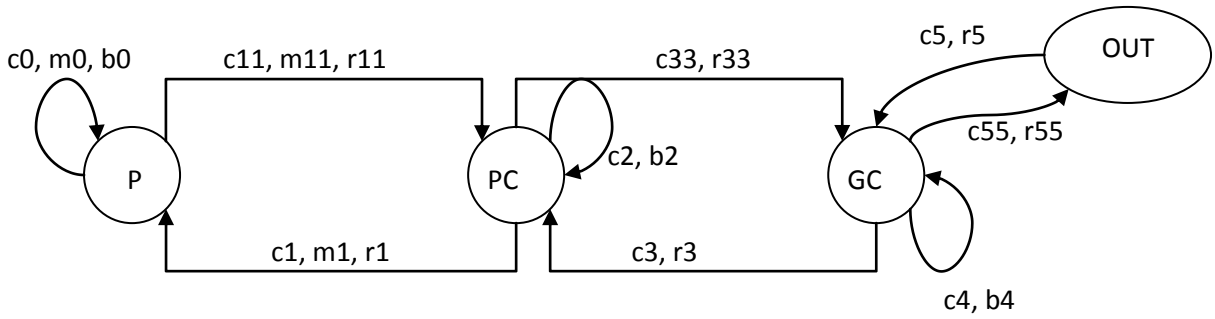

Figure 13 : Le réseau et la notation utilisée pour les liens

Le flux sur un lien est alors caractérisé par une lettre et un chiffre. La lettre fait référence au mode : « c » à la voiture, la lettre « m » pour le métro, la lettre « b » pour le mode bus et la lettre « r » pour le mode RER ou train. Les flux c0, m0, c0 font référence aux déplacements à l'intérieur du centre de Paris, les déplacements c1 font référence aux déplacements de la petite couronne vers le centre de Paris, le flux c11 a à voire avec le flux dans le sens inverse. Le flux c2 est de nouveau un flux qui a une origine et une destination à l'intérieur de la Petite Couronne, etc. Les flux numérotés « 5 » ou « 55 » concernent les déplacements qui viennent ou qui partent vers l'extérieur de la région parisienne.

Comme dans la plupart des modèles de transport, nous ne considérons chaque fois que le premier flux de la journée donc dans une direction seulement. Ainsi c1 est le flux en voiture de PC vers Paris le matin et c11 représente le flux de Paris vers PC le matin.

Nous prenons aussi en compte des combinaisons de modes, donc le c2r1b0 est un déplacement qui a comme origine la PC ou il utilise la voiture (c2) pour se rendre au RER (r1) qui l'amène à Paris où il utilise ensuite un bus (b0) jusqu'à destination.

Pour chaque lien on calcule deux flux : un flux représentatif pour les heures de pointe et un flux représentatif pour les heures hors pointe. Ce réseau ne distingue pas les périodes de pointe et hors pointe. Pour les tableaux indiquant les flux, ci-dessous, nous ferons cette distinction en séparant les données sur des colonnes distinctes attribuées chacune à une période de temps.

d) Elasticités des prix

Les élasticités prix sont spécifiques à chacun des 60 utilisateurs types. Pour les élasticités par rapport au prix généralisé au niveau des différentes alternatives de transport (chemins), on utilise des ordres de grandeurs suivants :

- Elasticité de prix directe dans la période de pointe de -0.65 à -1.95
- Elasticité de prix directe dans la période hors pointe de -1 à -1.966
- Elasticité de prix croisée dans la période de pointe de 0.05 à 1.35
- Elasticité de prix croisée dans la période hors pointe de 0.034 à 0.99
- Elasticité de prix croisée entre période de pointe et hors pointe de 0.016 à 0.524
- Elasticité de prix croisée entre période hors pointe et période de pointe de 0.0022 à 1.16

Par exemple, pour les élasticités prix pour les individus pauvres qui travaillent et font des trajets P-P on a :

		pointe			**hors-pointe**		
		PP_c0	**PP_b0**	**PP_m0**	**PP_c0**	**PP_b0**	**PP_m0**
pointe	**PP_c0**	-1.84	0.28	0.7	0.03	0.07	0.3
	PP_b0	0.16	-1.72	0.7	0.03	0.07	0.3
	PP_m0	0.16	0.28	-1.3	0.03	0.07	0.3
hors-pointe	**PP_c0**	0.09	0.17	0.4	-1.95	0.15	0.67
	PP_b0	0.09	0.17	0.4	0.066	-1.85	0.67
	PP_m0	0.09	0.17	0.4	0.066	0.15	-1.32

Figure 14 : Elasticités prix des individus les plus pauvres qui travaillent et font des trajets P-P

2. L'équilibre de référence

Notre analyse est basée sur un équilibre de référence par rapport auquel on étudie l'impact des réformes de tarification. Cet équilibre est déterminé pour refléter au mieux la situation actuelle observée sur la région parisienne. Nous évaluons cette situation principalement à travers les temps de trajet et la vitesse de circulation, à travers le flux de transport et à travers le tarif. La procédure de calibrage est détaillée dans les annexes volume 2 C.

a) Flux de transport

L'équilibre de référence est celui qui reflète les quantités observées dans la région parisienne en 2007. Il s'agit principalement des flux de transport observés mais aussi de certains agrégats tels que les versements transports ou les recettes tarifaires. Nous avons pour cela utilisé les données du recensement 2007 afin de construire la matrice origine-destination (OD) à partir des lieux de résidence et lieux de travail. Pour les données relatives au transport collectif, la source principale de nos données a été le rapport STIF.

Les données détaillées sur le calage sont fournies dans les annexes. Nous reprenons ici les indicateurs les plus importants. La matrice OD indique les déplacements quotidiens entre chaque origine et chaque destination. Cette matrice est extraite du fichier INSEE relatif à la mobilité professionnelle (données IDF du recensement de 2008). Le Tableau 23 reprend les déplacements professionnels et les déplacements non professionnels. Ces derniers ont été ajoutés proportionnellement aux déplacements professionnels afin de calibrer le volume total des déplacements aux flux observés sur la région parisienne. Cette matrice est ici donnée pour l'ensemble des périodes, des types d'usagers et modes de transport.

	P	**PC**	**GC**	**OUT**	
P	627 423	282 691	79 365	18 368	**1 007 847**
PC	620 169	1 089 765	1 729 990	19 055	**3 458 981**
GC	418 142	527 238	1 504 671	38 341	**2 488 392**
OUT	116 484	94 052	159 413		**369 949**
	1 782 218	**1 993 746**	**3 473 439**	**75 765**	7 325 168

Tableau 23: Flux de transport

Ces données indiquent les lieux de travail et les lieux de résidence. Il donne donc pour chaque individu un voyage aller. Le nombre total de déplacements est donc de 14.6 millions (7,3 x 2 millions) par jour[34]. Les déplacements pour un motif autre que le travail (école, loisir, etc.) sont pris en considération, proportionnellement aux déplacements domicile-travail. Le nombre total de déplacements peut être comparé avec le nombre de trajets considérés par de Palma et Lindsey (2006, tableau 4, p.118) qui considèrent 6.7 millions de trajets en 2002 extrapolés à 7.6 millions de trajets en 2008. Il s'agit de trajets du matin, donc dans une seule direction.

Malgré sa faible taille, Paris attire un grand nombre d'emplois par rapport aux deux couronnes. La conséquence en est un niveau de congestion élevé. La même source nous fournit la part des déplacements par mode. Au centre de Paris, la majorité des déplacements se fait en transport collectifs (14% des déplacements en voiture) alors que la voiture est largement utilisée dans les déplacements de banlieue. Le tableau suivant fournit la part des déplacements en voiture pour les différents types de déplacement.

[34] Elles ne sont pas comparables aux données du modèle monocentrique (de Palma et al 2011) car ici il y a plusieurs centres d'affaire, alors que dans le modèle monocentrique, par construction, tout le monde travaille au centre ville.

	P	PC	GC	OUT
P	14%	26%	41%	68%
PC	78%	56%	44%	58%
GC	74%	73%	80%	83%
OUT	32%	8%	85%	

Tableau 24 : Part des déplacements effectués (exclusivement) en voiture

b) Les temps de trajets

L'ajustement des quantités nous donne les valeurs suivantes pour les temps de trajet par rapport aux différents liens dans le réseau. Remarquons que pour les bus et les voitures les valeurs sont égales, car les deux modes sont supposés partager les mêmes voies. Les différences sur des temps de trajets entre l'heure de pointe et l'hors pointe sont relativement importantes sur la route. Par contre pour les modes ferrés (métro et RER) on a les mêmes temps de trajets, car il n'y a pas de congestion au niveau de ces voies.

Liens	Période de pointe	Période hors-pointe
c0	31,3382	5,1558
b0	31,3382	5,1558
m0	10,8	10,8
c1	14,0044	7,316
m1	1,2	1,2
r1	12,3	12,3
c2	51,3332	5,4646
b2	51,332	5,4646
c3	33,4944	14,187
r3	23,4	23,4
c4	28,4275	6,16952
b4	28,4275	6,16952
c5	19,0909	19,0909
r5	52,5	52,5
c11	20,5847	16,5726
m11	0,25	0,25
r11	12,3	12,3
c33	26,8549	13,944
r33	23,4	23,4
c55	5,45455	5,45455
r55	15	15

Tableau 25 : Temps de trajet (minutes)

Il faut noter que l'on ne dispose pas, dans cette base de données, des temps de trajets sur les différents liens. Les valeurs sur ce tableau ont été calculées en divisant les distances moyennes par la vitesse de circulation observée sur chaque lien. Ces dernières sont ne sont pas difficile à trouver et à approximer pour les zones urbaine. Pour les distances moyennes (les longueurs des différents liens), nous avons adopté des hypothèses à partir de la structure du réseau de transport de la région parisienne.

c) Les coûts généralisés

Les mêmes calculs nous donnent les coûts généralisés sur les différents liens et ce pour deux tranches horaires. Remarquons que les valeurs sont plus élevées pour la période de pointe même pour les modes de transport non congestionnés.

Liens	Période de pointe	Période hors-pointe
c0	11,774	3,72427
b0	14,8785	6,50042
m0	8,4987	6,95667
c1	6,9498	3,40559
m1	2,145	2,06
r1	4,9237	6,365
c2	16,1389	2,78293
b2	17,2771	4,06734
c3	11,7923	2,05907
r3	8,6587	5,05333
c4	11,9026	4,71088
b4	12,3166	5,42006
c5	18,9786	14,0121
r5	15,4688	12,175
c11	8,8416	5,41119
m11	2,11562	2,17083
r11	8,27375	8,865
c33	11,5085	3,20648
r33	9,14625	7,85333
c55	5,59075	4,37751
r55	6,3125	5,25

Tableau 26 : Coûts généralisés (€)

L'estimation de la valeur de temps utilisée est celle du rapport Boiteux (2000), qui nous donne 10€/h pour les déplacements domicile-travail comme valeur moyenne sur Paris. Nous avons actualisé cette valeur en tenant compte de l'appréciation de la monnaie entre 2000 et 2008, l'année de référence pour ce travail. On a ensuite distingué les valeurs pour les différentes catégories d'usagers mais de manière à garder la valeur moyenne pour ce type de déplacement.

3. Les réformes de tarification

A partir de l'équilibre de référence on considère un ensemble de schémas de tarification dans l'objectif de réduire les coûts externes générés par les transports et afin de rationaliser l'accès aux infrastructures de transport. La finalité de ces réformes est d'améliorer le bien-être social des usagers des transports.

Nous distinguons trois types de simulations élémentaires : les péages de zone, les péages de cordon et la reforme de la tarification des transports publics.

Dans tous les scénarios, les revenus du péage sont redistribués aux ménages de manière uniforme. C'est-à-dire que chaque groupe reçoit une somme proportionnelle à sa taille. Nous discuterons par la suite des situations où une partie de ces recettes est utilisée d'une autre manière. En particulier, ces revenus pourraient être utilisés pour augmenter la subvention sur les transports collectifs ou pour diminuer l'impôt sur les revenus.

a) Péage de zone

Un péage est imposé pour chaque déplacement à l'intérieur d'une zone géographique donnée. Dans la pratique ce schéma correspond à la « London congestion charge » (voir Anas et Lindsey, 2011). Ce péage a comme objectif la réduction du trafic dans les zones les plus congestionnées. Nous considérons ainsi un péage dans la zone de Paris et un autre dans la zone de la Petite Couronne. Celle-ci est moins congestionnée, mais nous entamons cet exercice principalement à titre de comparaison.

Nous étudions dans ce cadre deux types de scénarios :

SCENARIO 1 : péage zone « Paris », concerne les déplacements en voiture à Paris

SCENARIO 2 : péage zone « Petite Couronne », concerne les déplacements dans Paris mais aussi dans la petite couronne.

SCENARIO 3 : péage zone « Grande Couronne », concerne les déplacements dans toute la région parisienne.

b) Péage cordon

Un cordon est une tarification qui est imposée aux voitures qui se déplacent entre deux zones géographiques données. Au passage d'une frontière les voitures payent un montant qui peut dépendre de l'horaire et du type du véhicule.

Nous étudions dans ce cadre deux types de scénarii :

SCENARIO 4 : péage cordon « Paris », concerne tous les déplacements en voiture entrant ou sortant de Paris.

SCENARIO 5 : péage cordon « Petite Couronne », concerne tous les déplacements en voiture de la grande couronne vers la petite couronne et inversement.

c) Tarification du transport public

Une question assez soulevée dans les débats politiques concerne les schémas de tarification des transports collectifs dans la région parisienne. Faut-t-il, par exemple, adopter un tarif unique pour les déplacements, laisser le découpage actuel ou un autre ? Faut-t-il réduire les subventions accordées au secteur transport public ou au contraire les augmenter ? Dans cette partie c'est ce type de question que soulève notre analyse.

Une particularité de la politique tarifaire des transports collectifs est qu'elle n'est pour l'instant pas différenciée entre l'heure de pointe et hors pointe, car la majorité des déplacements (surtout pour les résidents) sont effectués avec des abonnements mensuels ou annuels. Plus loin nous discutons brièvement des politiques qui ciblent les périodes de pointe.

Nous étudions ces questions dans un type de scénarios relatif au transport collectif :

SCENARIO 6 : ajustement péage transport collectif

Dans cette section nous discutons les effets d'un certains nombre de schémas de tarification. Nous avons testé plus d'une centaine de scénarii, et nous retenons les cas pertinents pour notre synthèse.

Comme étape préliminaire à l'analyse des réformes de tarification, nous calculerons d'abord l'impact d'une augmentation du tarif par 1 € pour chaque scénario. Ceci nous permet d'éclairer les scénarios de réformes à considérer.

4. Premiers Résultats

Le principal critère utilisé pour comparer les différents schémas de tarification est le bien-être social. Cet indicateur est calculé comme l'agrégation de l'utilité de la population en tenant compte de la redistribution des recettes de péage.

Nous considérons l'équilibre de référence et nous étudions l'impact sur le bien-être social d'une tarification d'un 1€ selon *les différents schémas de péage* : péage de zone à Paris (Z_P), péage de zone sur la Petite Couronne (Z_PC), péage de zone sur la Grande Couronne (Z_GC), péage de cordon sur Paris (C_P) ou finalement un péage cordon sur la Petite Couronne (C_PC). Le report modal vers les transports publics produit des coûts supplémentaires d'exploitation et ou des effets externes d'encombrement, surtout en période de pointe. Nous avons tenu compte de ces coûts en utilisant les calculs effectués dans la première partie de cette analyse (le modèle Parry et Small). Concrètement nous avons utilisé un coût marginal en pointe de 18 €ct par passager km pour les voies ferrés et de 23 €ct par passager km pour les bus.

Le tableau suivant nous donne ces différents impacts sur les deux grandes catégories d'usagers considérées et ceci pour une redistribution de 0%, de 20%, de 50% et de 100% des recettes.

Tarification	ΔW : Pauvres	ΔW : Riches	ΔW : Moyen
Z_P	-11.1291	-10.983	-11.0201
Z_PC	-35.7729	-37.5396	-37.0901
Z_GC	-61.1392	-66.491	-65.1292
C_P	-6.19156	-8.52894	-7.9342
C_PC	-8.01411	-18.2937	-15.678

Tableau 27 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers (€/individu/an). Absence de redistribution des revenus du péage

Tarification	ΔW : Pauvres	ΔW : Riches	ΔW : Moyen
Z_P	-6.48228	-6.30568	-6.35061
Z_PC	-13.7777	-14.4296	-14.2637
Z_GC	-24.7077	-30.7974	-29.2479
C_P	-3.48503	-5.76866	-5.18759
C_PC	-3.31952	-13.8549	-11.1742

Tableau 28 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers (€/individu/an). Redistribution de 20% des revenus du péage

Tarification	ΔW : Pauvres	ΔW : Riches	ΔW : Moyen
Z_P	0.487939	0.710232	0.65367
Z_PC	19.2152	20.2355	19.9759
Z_GC	29.9395	22.743	24.5741
C_P	0.574761	-1.62824	-1.06769
C_PC	3.72235	-7.19685	-4.41848

Tableau 29 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers. (€/individu/an). Redistribution de 50% des revenus du péage

Tarification	ΔW : Pauvres	ΔW : Riches	ΔW : Moyen
Z_P	12.105	12.4034	12.3275
Z_PC	74.2032	78.0107	77.0419
Z_GC	121.018	111.977	114.278
C_P	7.34108	5.27246	5.79882
C_PC	15.4588	3.89995	6.84108

Tableau 30 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers. (€/individu/an). Redistribution de 100% des recettes de péage

Légende : Z_P = Zone Paris .Z_PC = Zone petite couronne, Z_GC = Zone grande couronne, C_P = Cordon Paris et C_PC = Cordon petite couronne.

A partir des Tableau 27, Tableau 28, Tableau 29 et Tableau 30, on voit l'impact de la tarification sur l'utilité des usagers et aussi l'impact de la redistribution des recettes du péage. Les recettes redistribuées sont égales aux revenus bruts du péage corrigés pour les pertes de recettes pour le parking et le TIPP et après déduction des subventions supplémentaires nécessaires pour le confort des passagers supplémentaires dans les transports publics en période de pointe. Les recettes sont redistribuées d'une façon uniforme aux 7,3 Millions d'individus qui se déplacent dans la zone parisienne considérée. Les variations d'utilité sont mesurées après que les voyageurs ont pu s'ajuster aux nouvelles options de transport.

On remarque que si les recettes ne sont pas redistribuées (Tableau 27), tous les usagers subissent une variation négative de leur bien-être. La tarification des routes sera alors difficilement acceptable par les usagers. Toutefois, sur le Tableau 29, nous observons qu'à partir d'une redistribution de 50% on a une variation positive pour tous les péages de zone. Pour les péages de type cordon la variation est positive pour la classe des pauvres et négative pour les riches. Ces tableaux montrent donc que la redistribution est un élément clé dans l'acceptabilité du péage. Nous verrons plus loin que c'est aussi un élément qui influence le niveau de péage qui doit être imposé afin d'atteindre le maximum d'utilité dans la région. En l'absence de coûts de transaction, les différents types de péages unitaires permettent de redistribuer sur une base annuelle et par voyageur (7.3 millions d'individus) environ 23 € (Z_P), 114 € (Z_PC), 179 € (Z_GC), 14 € (C_P), 23 € (C_PC). Les différents types de péage génèrent des recettes brutes très différentes. Comme attendu, certains schémas affectent beaucoup plus de trajets que d'autres.

Nous remarquons qu'il y a relativement peu de différence dans l'effet d'un péage unitaire sur les pauvres et les riches. Une des raisons est qu'à Paris, le métro et le RER sont aussi intensivement utilisés par les classes moyennes que par les riches.

Le graphique suivant (Figure 15) nous donne une idée sur les ordres de grandeur des différents schémas de tarification. On voit d'abord que les péages de zone d'1 € conduisent à des gains de bien-être plus importants que les péages de cordon. Ensuite ces effets sont encore plus importants au niveau de la Petite Couronne et de la Grande Couronne. Remarquez que dans le graphique on a supposé que toutes les recettes nettes peuvent être redistribuées et qu'on ignore donc tous les coûts de transaction.

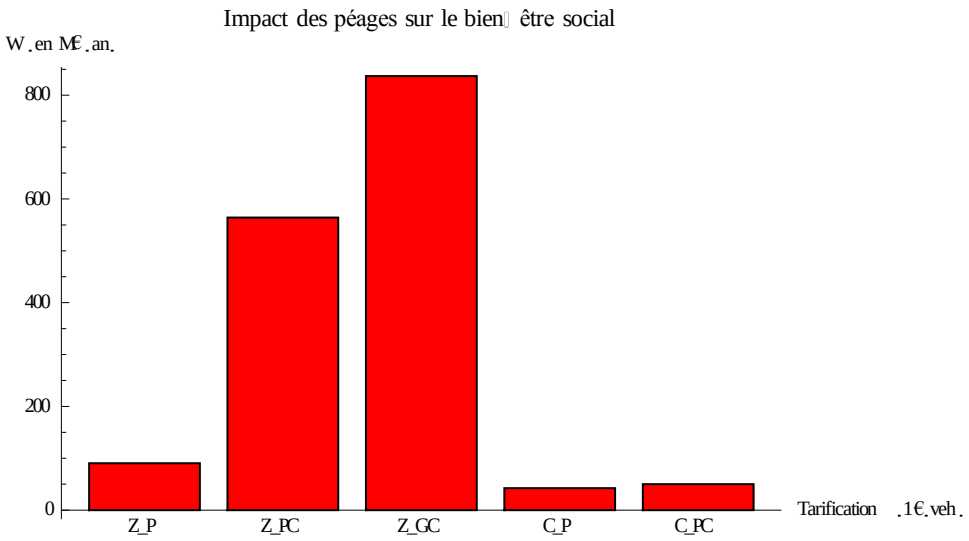

Figure 15 : Impact de la tarification (1 €) par groupe géographique tenant compte du coût d'opération pendant l'heure de pointe.

Légende : Z_P = Zone Paris .Z_PC = Zone petite couronne, Z_GC = Zone grande couronne, C_P = Cordon Paris et C_PC = Cordon petite couronne.

Nous avons testé la robustesse de ces résultats par rapport à des variations des élasticités de substitution pour le choix modal. Augmenter ou diminuer le paramètre de flexibilité des utilisateurs de l'ordre de 20% ne change pas fortement les résultats.

Au niveau du transport public, nous avons procédé à une variation du niveau de la tarification pour chacune des liens de transport public. Plus particulièrement, pour chaque lien de transport public nous avons augmenté, chaque fois et ceci d'une façon isolée, le tarif d'1 € pour apprécier mieux le rôle de ce lien dans l'ensemble. Il s'agit ainsi d'un exercice théorique. Nous obtenons les effets pour les deux catégories d'usagers données (pauvres, riches) par les graphiques suivants (Figure 16 et Figure 17). La différence entre les figures 16 et 17 réside dans la prise en compte des coûts d'exploitation supplémentaires du transport public. Ceux-ci ne sont pris en considération que dans la Figure 17.

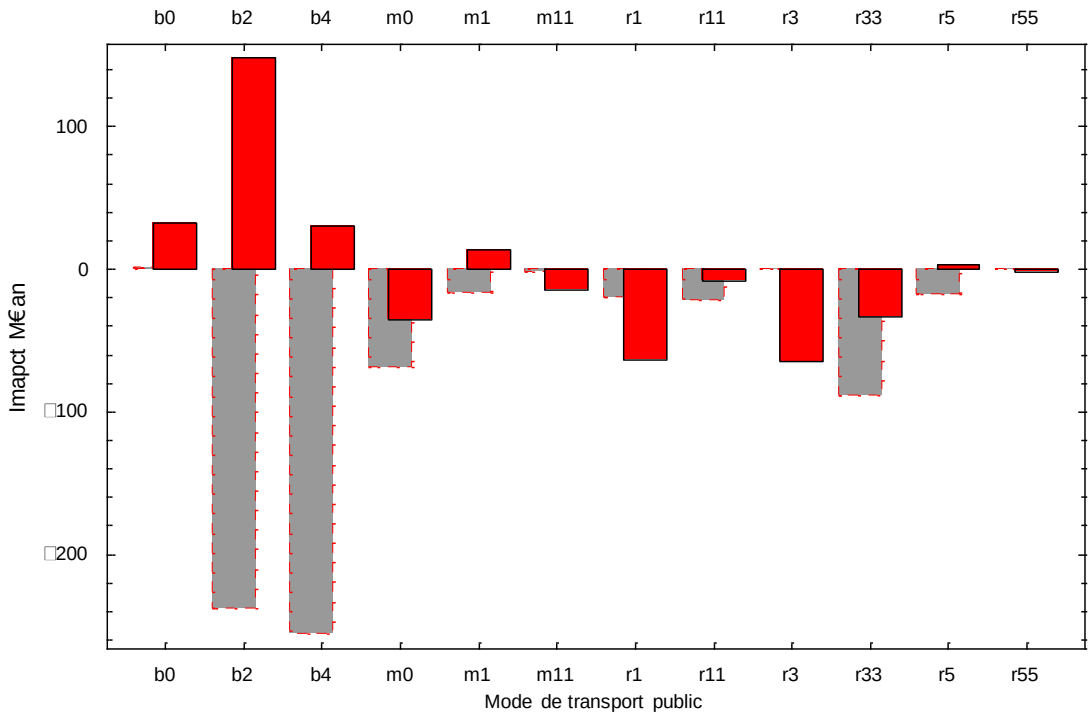

Figure 16 : Impact sur le bien-être d'une augmentation marginale de la tarification dans le transport public

Légende : b = bus, m = métro, r = Rail, 0 = à l'intérieur de Paris, 1 = de PC vers Paris, 2 = à l'intérieur de la petite couronne, 3 = de la Grande Couronne vers la Petite Couronne, 5 = de l'extérieur de la région parisienne vers la grande couronne.

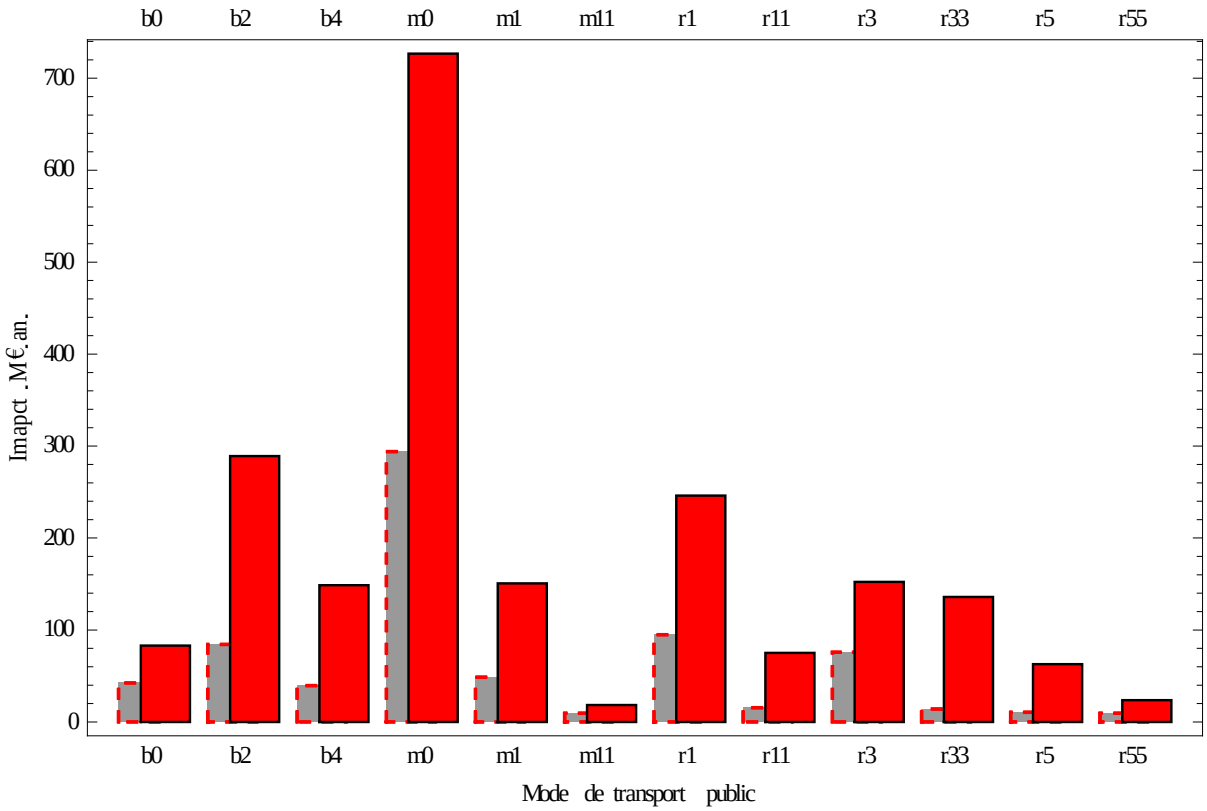

Figure 17 : Impact sur le bien-être d'une augmentation marginale de la tarification dans le transport public, tenant compte du coût d'opération supplémentaire pendant l'heure de pointe pour les passagers additionnels

Légende : b=bus, m= métro, r=Rail, 0 = à l'intérieur de Paris, 1= de PC vers Paris, 2 = à l'intérieur de la petite couronne, 3 = de la Grande Couronne vers la Petite Couronne, 5= de l'extérieur de la région parisienne vers la grande couronne.

Les rectangles en pointillés reflètent l'impact total de la tarification pour chaque groupe d'individus (identifié ici à travers le mode de transport utilisé) sur le bien-être des pauvres alors que les rectangles adjoints reflètent l'impact sur les usagers riches. Dans la Figure 16, dans la plupart des cas les colonnes ont une valeur négative. Ceci veut dire qu'il n'est pas productif d'augmenter la plupart des tarifs du transport public si les voyageurs supplémentaires peuvent être desservis sans coût additionnel. Dans l'ensemble, des résultats de la Figure 176 devraient rappeler l'analyse menée dans la première partie (section 2) où les subventions pour les transports publics en pointe sont justifiées par la tarification insuffisante du transport privé (cf. notre modèle agrégé en section 2). Dans la Figure 17, nous avons ajouté des coûts supplémentaires pour desservir des passagers en période de pointe (pour rappel : 0.18 € par passager km pour le rail en pointe et 0.23 par passager kilomètre pour le bus en pointe). Ceci donne des résultats positifs de bien-être, donc l'économie de coût au niveau des transports publics (voyageurs dont la valeur du voyage était plus faible que leur coût réel) dépasse le gain de bien-être associé au transfert modal de la voiture privée vers les transports publics. Notre modèle fonctionne donc avec des hypothèses sur les possibilités de substitution moins optimistes que Parry et Small.

Les différences quantitatives entre les liens sont surtout dues aux différences dans le nombre de passagers affectés par chacun des liens. Parce que les riches sont plus nombreux que les pauvres, les effets positifs sont aussi plus importants pour les riches que pour les pauvres.

Les résultats des Figure 16 et Figure 17 nous enseignent que combiner une augmentation de la tarification des transports privés et une augmentation des tarifs de transports publics a plus de chance de générer un gain économique. Une fois que les transports privés sont tarifiés plus correctement, on peut trouver plus facilement des changements de tarification des transports publics qui peuvent être bénéfiques.

5. Impact des différents schémas de tarification

Cette section présente les impacts des différents schémas de tarification sur les finances publiques et le bien-être social. Pour le calcul des effets sur les finances publiques on a utilisé l'hypothèse que l'emploi total ne change pas. Les changements conduisant à une réduction de déplacements sont assimilés ou bien à un transfert vers un travail à domicile (télétravail) ou à du covoiturage.

a) Péage de zone

Nous considérons un péage d'un niveau de 5€. Ce choix est motivé par l'aspect réaliste et pratique.

L'impact sur les flux est discuté dans la figure 18. Pour un péage de 5€, on observe une diminution importante de l'usage des voitures dans Paris. Cette diminution atteint environ 45% des déplacements dans Paris. Elle reste importante pour les individus qui viennent ou qui partent de Paris vers la Petite ou la Grande Couronne. On remarque aussi que l'impact du péage diminue avec les longueurs des trajets. Par exemple, les trajets entre la Grande Couronne et Paris sont moins touchés que les trajets entre la Petite Couronne et Paris. En même temps, on voit que les déplacements en bus augmentent sensiblement. En effet, la tarification routière conduit à une réduction de la congestion qui permet au bus d'avoir une vitesse moyenne plus élevée et donc un temps de trajet plus faible[35]. Globalement, le péage conduit à une réduction dans le coût (généralisé) d'usage des bus. C'est principalement ce qui explique le report modal des voitures vers les bus et aussi les modes ferrés.

Dans certains cas, on a des effets opposés pour les même origines et destinations. Par exemple, pour les trajets de l'extérieur vers Paris (OP). Il y a deux manières au moins de l'effectuer : soit par train (ou RER) jusqu'à Paris, puis bus (OP_r5b0), soit par voiture sur tout le trajet (OP_c5c3c1c0). Dans le premier cas, on a effet positif car les usagers profitent de la réduction de la congestion dans Paris, alors que dans le deuxième cas, l'effet est négatif car les usagers sont concernés directement par le péage. La tarification implique dans ce cas un report modal de la première vers la deuxième option. Pour les modes ferrés, la vitesse moyenne ne dépend pas du nombre d'usagers.

Les résultats obtenus ici dépendent des valeurs des paramètres (notamment les élasticités) et doivent donc être interprétés avec une certaine réserve.

[35] Ce phénomène a aussi été constaté à Londres.

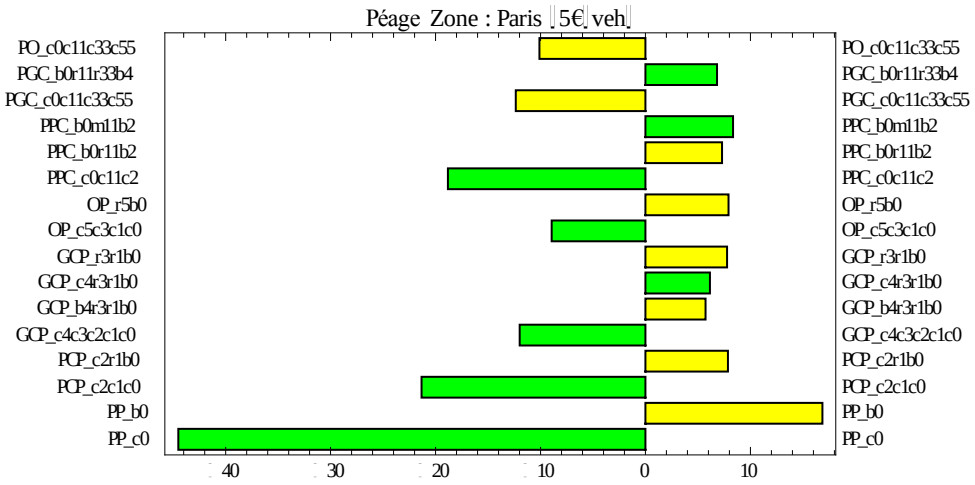

Figure 18 : Effets sur les flux de transports d'un péage de zone de 5 € à Paris

(Légende : PO = de Paris vers l'extérieur de l'Ile de France, PGC = de Paris vers la Grande Couronne et PPC = de Paris vers la petite couronne. c, r et b indiquent qu'une partie du trajet a été respectivement effectuée en voiture, train et bus.

Les tableaux 31 et 32 ci-dessous donnent les variations de l'utilité correspondant à un péage zonal de 5 € pour les quatre groupes d'usagers en fonction des origines et destinations. On présente le résultat avec redistribution des recettes et sans coûts supplémentaires pour les transports publics en pointe et une fois avec coûts supplémentaires pour les transports publics en pointe. Certains autres usagers, subissent des variations positives, car ils ne sont pas concernés par le péage mais bénéficient de la réduction de trafic[36].

Ces variations distinguent entre les différents groupes d'usagers selon leur lieu de résidence et leur lieu de travail, mais ne distinguent pas entre les modes de transport. En effet, la variation dans le niveau d'utilité reflète la plus grande (ou la plus faible) flexibilité dont bénéficie un usager par rapport à ses possibilités de déplacement. Avec ce péage de zone, les usagers se déplaçant dans Paris subissent l'impact direct du péage. Pour les usagers de la voiture, cet impact est négatif (avant redistribution des recettes du péage), mais il est positif pour les usagers du bus (réduction de la congestion). Ces différentes variations sont visibles à partir des temps de trajets (ou des coûts généralisés) sur les différents liens.

[36] Notons que les coûts de parking sont inclus dans les coûts de déplacement. Les habitants de Paris ont des facilités de parking dans le quartier où ils résident mais pour leurs déplacements en dehors de leur quartier ils paient le coût de parking. Ce traitement favorable ne va donc pas nécessairement avoir un grand impact sur nos résultats.

	Pauvres Actifs	Pauvres Non actifs	Riches Actifs	Riches Non actifs
PP	0.539198	0.0936718	1.52406	-0.0673076
PCP	-1.30354	-0.215263	-6.92086	-1.60802
GCPC	1.35544	0.255703	8.20112	1.50875
GCP	0.905851	0.144512	5.00038	0.42633
OGC	0.195232	0.0389763	1.78727	0.356528
OGC	0.893863	0.168882	0.678329	0.12474
OPC	-0.172699	-0.0277327	-1.03046	-0.316465
OP	-0.42756	-0.0868569	0.2941	-0.28548
PPC	-0.48992	-0.0831552	-2.05295	-0.460287
PGC	-0.193379	-0.0320943	-1.74543	-0.330157
PO	8.13682	1.53476	22.6201	4.1592
PCO	0.0565877	0.0109235	0.239334	0.0452203
GCO	0.0591633	0.0118327	0.411535	0.0823071
PCPC	5.7956	1.08984	15.0361	2.79198
GCGC	4.7275	0.943469	14.1209	2.81978

Tableau 31: taux de variation de l'utilité (en euro/an/ind)

Légende : PA = pauvres actifs ; PNA = pauvres non actifs ; RA = riches actifs ; RNA = riches non actifs. Ces chiffres ne tiennent pas compte des coûts additionnels de transport en commun en période de pointe.

	Pauvres Actifs	Pauvres Non actifs	Riches Actifs	Riches Non actifs
PP	0.966501	0.187546	3.6539	0.48853
PCP	-0.745217	-0.0644432	-5.43545	-1.11891
GCPC	0.68484	0.123151	4.62158	0.795973
GCP	0.388427	0.062173	2.27319	-0.00460888
OGC	0.0863987	0.0172187	0.796342	0.158304
OGC	0.461303	0.0830875	0.389728	0.0673681
OPC	-0.225958	-0.0355872	-1.81613	-0.446224
OP	-0.225433	-0.0200254	0.00832438	-0.202446
PPC	-0.393178	-0.0584683	-1.94619	-0.407732
PGC	-0.155489	-0.02311	-1.55622	-0.279475
PO	4.13317	0.743077	12.8014	2.20538
PCO	0.027217	0.0050897	0.125334	0.0225953
GCO	0.0261214	0.00522429	0.181699	0.0363397
PCPC	2.50285	0.451098	7.12993	1.2099
GCGC	2.0629	0.411291	6.17201	1.22536

Tableau 32 : taux de variation de l'utilité (en euro/an/ind)

Légende : PA = pauvres actifs ; PNA = pauvres non actifs ; RA = riches actifs ; RNA = riches non actifs. Avant redistribution des recettes du péage. Ces chiffres tiennent compte des coûts additionnels de transport en commun en période de pointe.

Avec ce péage de zone, le taux d'usage de la voiture pour les déplacements dans Paris passe de 14% à 8% alors qu'en Petite Couronne on a une légère augmentation du taux d'usage des voitures (de presque 0.4%). Le nombre de déplacements domicile-travail diminue de 35000 unités approximativement. Notre hypothèse est que la diminution peut être attribuée à des changements dans l'organisation du transport individuel (travail à domicile ou dans le quartier de résidence impliquant des déplacements non motorisés, covoiturage, etc.).

Concernant les temps de trajet et les coûts généralisés, le péage de zone considéré ici permet une réduction principalement pour les usagers de la route à Paris, la voiture particulière et le bus. En effet, la diminution du nombre de voitures réduit le niveau de la congestion et permet d'écourter les temps de trajet. Il en résulte un gain de temps. Ce gain est perceptible même en dehors de Paris notamment en Petite Couronne. Les coûts généralisés pour les modes ferrés restent toutefois insensibles aux effets du péage.

Reconsidérons le péage de zone de 5€ en Petite Couronne. Comme mentionné plus haut, cette tarification implique les variations les plus fortes, le nombre de chemins touchés par des variations importantes est assez élevé, et l'on a pris en considération uniquement les variations ayant une amplitude supérieure à 5%. Les chemins les plus touchés négativement concernent le mode voiture, mais aussi certains modes de transport public à cause de l'encombrement. Les variations positives montrent clairement qu'il y a un rabattement important sur le mode bus qui profite des gains de vitesse. Cette constatation est redondante dans la majorité des schémas de tarification. L'impact sur le niveau global du trafic en voiture est une diminution de 1.48% sur l'ensemble de la région parisienne.

Il s'ensuit que dans un contexte pratique, la mise en place d'une tarification routière doit prendre en compte l'augmentation particulière des usagers des bus et une offre de capacité supplémentaire pour ce mode. Cette constatation concerne la majorité des schémas de tarification mais particulièrement le péage de zone du fait qu'il implique des variations importantes au niveau des quantités de trafic.

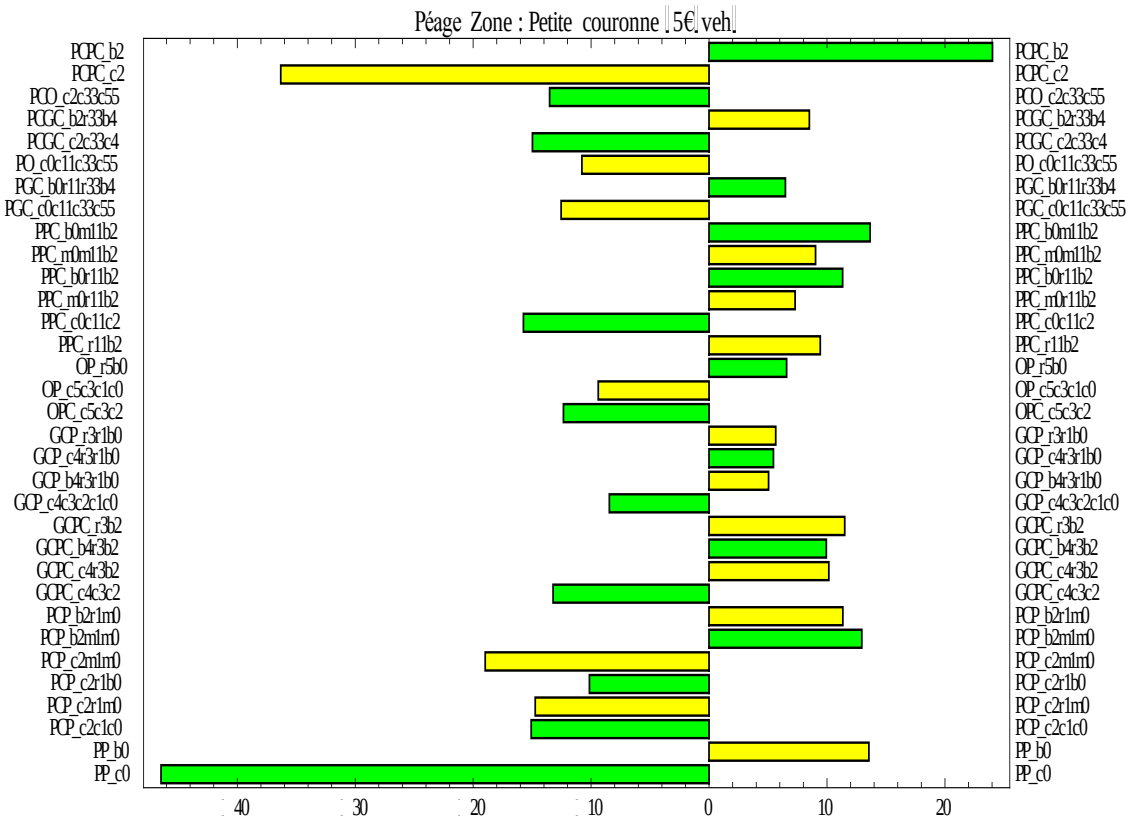

Figure 19 : Variations en % des flux de transport les plus affectés par un péage de zone en Petite Couronne de 5€

b) Péage cordon

Les effets du péage cordon sont comparables aux effets du péage de zone mais leur intensité est relativement moins importante.

Pour un péage cordon sur Paris avec une valeur moyenne, de 5€ ici, les chemins ayant subits des variations de quantités supérieures à 3%, en valeur absolue, sont présentées dans le graphique suivant. Il y a trois variations négatives (toutes à destination de Paris en voiture). La plus importante concerne les déplacements à partir de la petite couronne. Les autres effets positifs sont d'intensité moindre et concernent les déplacements en voiture ou en bus à l'intérieur de Paris ou dans la petite couronne. On notera particulièrement que le report modal sur le bus est relativement important pour les autres schémas de tarification. La totalité des déplacements sur la région parisienne diminue de 0.08%.

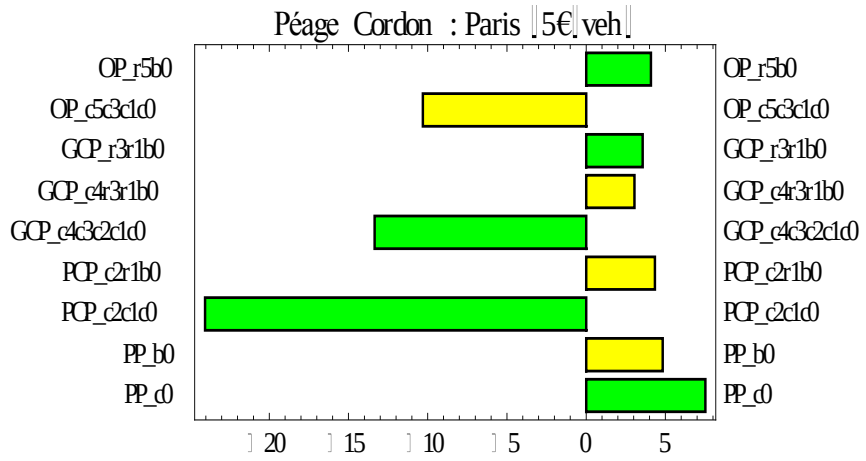

Figure 20 : Variations en % des flux de transport les plus affectés par un péage de cordon de 5€ à Paris

Le graphique suivant concerne aussi un péage cordon mais sur la Petite Couronne. Dans ce cas, il y a plus de chemins concernés par des variations supérieures à 3% (en valeur absolue), l'intensité de ces variations, notamment celles qui sont négatives est plus faible. L'usage de la voiture diminue principalement pour les trajets qui passent par la Petite Couronne. Les variations positives relativement importantes sont un rabattement sur les bus en Grande Couronne et les déplacements en voiture dans Paris. Il est à noter que la variation pour l'usage des bus n'est pas très importante au niveau de la Petite Couronne. En effet comme la diminution du nombre de voitures n'est pas très importante, le gain en temps de transport reste limité et ne stimule pas d'avantage l'attractivité des bus. Le niveau global des déplacements reste plus ou moins constant.

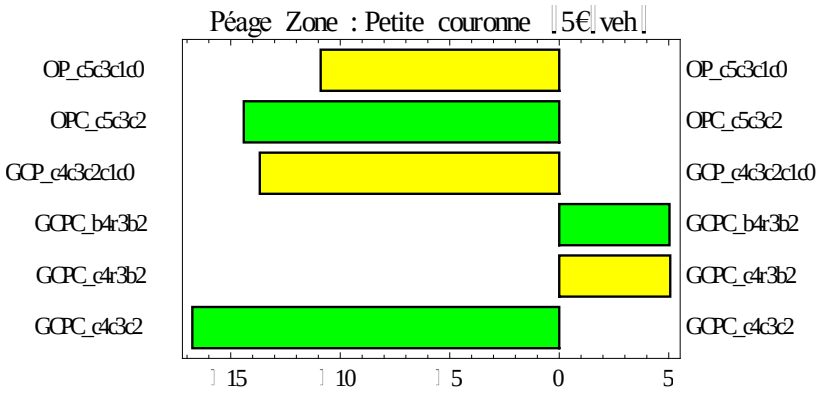

Figure 21 : Variations en % des flux de transport les plus affectés par un péage de cordon de 5€ en Petite Couronne

Concernant le péage de zone, lorsque ce schéma est appliqué au niveau de Paris les chemins les plus affectés sont relativement nombreux, par comparaison à un péage cordon de même valeur. Le niveau des déplacements en voiture dans Paris diminue de manière très importante, tandis que le reste des déplacements en voiture qui passent par Paris, diminue plus faiblement. La variation positive la plus notable concerne le mode bus dans Paris. Cette attractivité provient de la baisse de la congestion sur les routes. Le niveau global du trafic diminue de l'ordre de 1%.

c) Les transports collectifs

Considérons maintenant une tarification du transport public couplée avec un péage routier. *A priori*, il est difficile de déterminer s'il faut ou non augmenter le prix des transports collectifs. En effet, le péage peut justifier une réduction des tarifs puisqu'une source de financement supplémentaire pour le secteur transport est disponible, mais il y a un argument en faveur de l'option inverse, qui suggère une augmentation de tarification du transport public. Dans la première partie de cette analyse (le modèle agrégé), la raison principale pour subventionner le secteur transport public était la tarification trop faible pour les voitures privées. C'est principalement la source de la distorsion qui motive la subvention du transport public. Dans cette logique, il se peut que la mise en place d'un péage routier élimine la distorsion initiale, et l'on ne trouve plus la nécessité de subventionner le transport public.

Nous avons cherché à discuter ce point à travers le même modèle en calculant l'impact d'un péage routier couplé à une augmentation des tarifs du transport publics. Ensuite nous considérons le même péage mais couplé à une réduction du tarif des transports publics. Nous avons considéré trois combinaisons : en premier lieu nous avons pris un péage de zone en PC de 5 euro et une augmentation des tarifs du transport public de 10%, ensuite nous avons pris un péage de 3 euro et une variations des tarifs du transport public de +10% et -10%. Il s'avère dans notre cas que, une fois que le péage automobile a été introduit, la réduction des tarifs des transports publics n'est pas nécessairement bénéfique et qu'une légère augmentation des tarifs des transports publics peut être plus intéressante quand elle est combinée à l'introduction d'un péage.

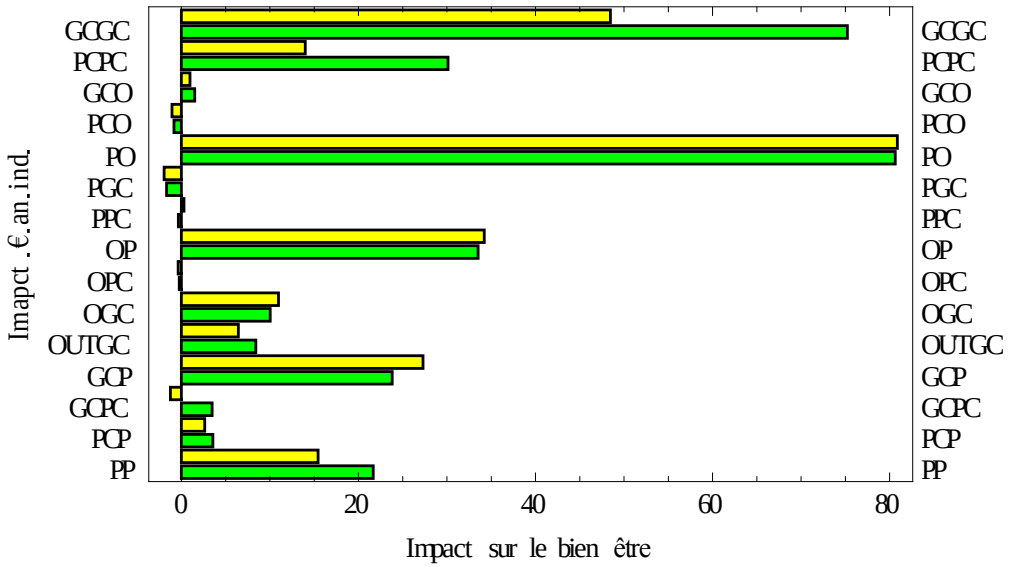

Figure 22 : Impact d'une tarification de zone (petite couronne) de 5€ (colonnes vertes), et impact de cette tarification accompagnée d' une réduction des tarifs de 10% dans les transports collectifs (colonnes jaunes) tenant compte du coût d'opération des transports pendant l'heure de pointe, sur les niveaux de bien-être par groupe selon l'origine et la destination.

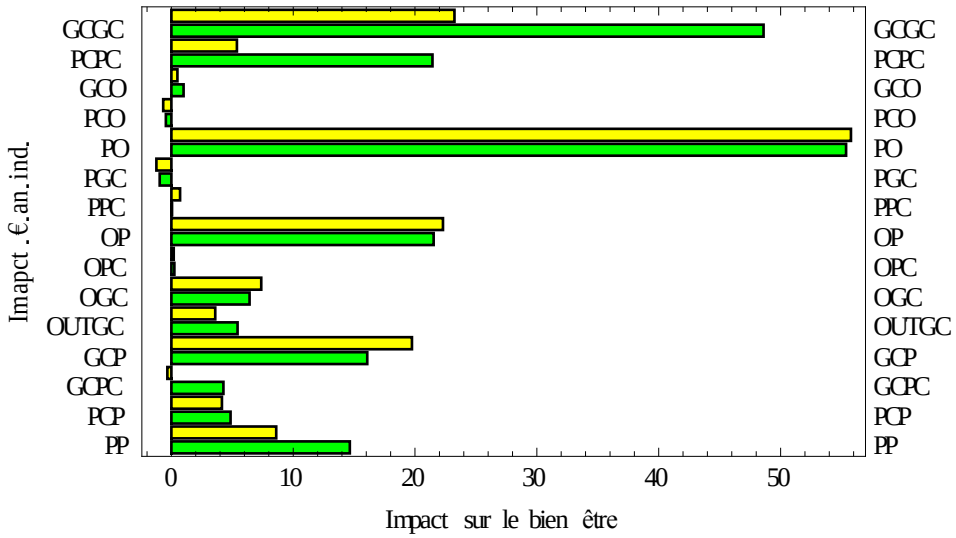

Figure 23 : Impact d'une tarification de zone (petite couronne) de 3€ (colonnes vertes), et impact de cette tarification accompagnée d'une réduction des tarifs de 10% dans les transports collectifs (colonnes jaunes) tenant compte du coût d'opération des transports pendant l'heure de pointe, sur les niveaux de bien-être par groupe selon l'origine et la destination.

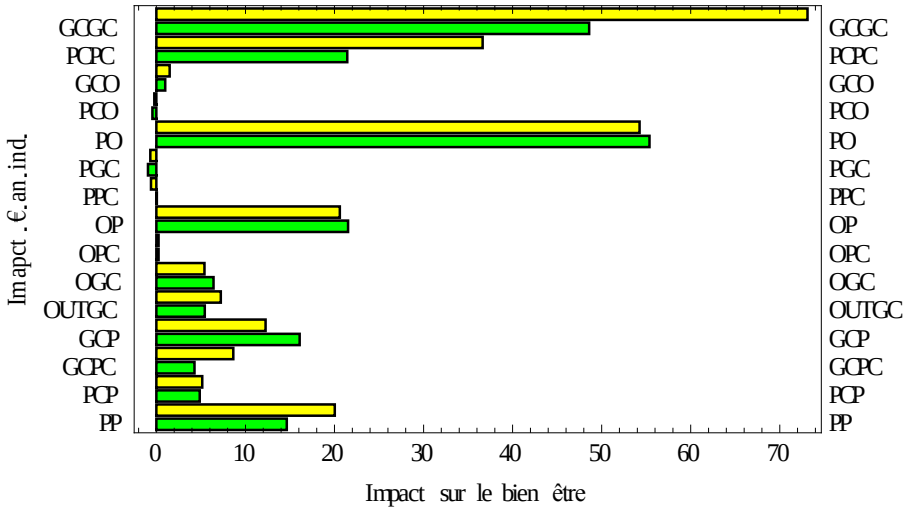

Figure 24 : Impact d'une tarification de zone (petite couronne) de 3€ (colonnes vertes), et impact de cette tarification accompagnée d'une augmentation des tarifs de 10% dans les transports collectifs (colonnes jaunes) tenant compte du coût d'opération des transports en commun pendant l'heure de pointe, sur les niveaux de bien-être par groupe selon l'origine et la destination.

Les Figure 22, Figure 23 et Figure 24 représentent les variations de bien-être en fonction du péage routier (couleur verte) et de la tarification des transports collectifs (couleur jaune).

Dans ce travail, nous avons utilisé deux approches.

Dans la première approche, nous avons analysé la tarification des transports publics à l'aide d'un modèle très agrégé et justifié le taux de subvention élevé des transports publics à Paris. Ce taux élevé de subvention peut se justifier si la baisse des tarifs des transports publics attire des passagers

supplémentaires dont une partie importante (>30%) étaient des automobilistes pendant les heures de pointe. Ces automobilistes ne paient pas le coût externe de congestion.

Dans une deuxième approche, nous avons analysé diverses formules de réforme de la tarification des voitures privées et transports publics. L'approche représente la région parisienne comme une série de 3 anneaux concentriques, 15 origine-destinations, 4 classes professionnelles, deux périodes et une dizaine de différents modes ou combinaisons de modes. Cette deuxième approche a permis d'étudier l'acceptabilité de différentes combinaisons de péages zonales, de péages de cordon et de changements de la tarification des transports publics. Le tableau 33 récapitule les effets qualitatifs les plus importants.

Dans l'ensemble, le travail nous a permis de tirer trois conclusions :

Premièrement, on trouve que, moyennant des coûts de transaction raisonnables (nettement moins que 50% des recettes), un péage de zone au niveau de la Petite Couronne peut générer des gains de bien-être importants pour la plupart des résidents concernés.

Deuxièmement, le gain de bien-être peut encore augmenter quand on réduit le taux de subvention des transports publics. En effet, quand la tarification des transports privés est corrigée, il devient plus difficile de justifier un taux de subvention aussi élevé.

Troisièmement, les effets de bien-être ne sont pas forcément très différents pour les *pauvres* et les *riches* quand les recettes nettes du péage sont redistribuées d'une façon uniforme.

Bien sûr il s'agit des premières analyses à l'aide d'un nouvel instrument de modélisation et il s'agit de considérer nos conclusions comme des suggestions à explorer.

Scénario	Descriptif	Impacts	
		Volumes de Transport	**Effets sur le bien-être**
Zone	Paris	- Diminution relativement importante des déplacements voiture à Paris - Augmentation des flux sur les modes substituables (bus notamment)	- positif – sans grandes différences entre classes pauvres et riches quand les recettes nettes sont redistribués d'une façon uniforme
	Petite Couronne	- Le flux des déplacements voitures diminue à Paris et à la petite couronne - Un important report modal sur le bus et les transports collectifs	- positifs – sans grande différences entre classes pauvres et riches quand les recettes nettes sont redistribués d'une façon uniforme
	Grande Couronne	Le flux des déplacements voitures diminue partout - Un important report modal sur le bus et les transports collectifs	- Les effets augmentent mais de manière moins importante (en comparant par rapport un passage d'une tarification sur Paris et son extension à la petite couronne) - Plutôt bénéfique à la classe des usagers « pauvres »
Cordon	Paris	- Le trafic diminue légèrement à Paris - Les déplacements vers Paris de l'extérieur diminuent sensiblement - Les déplacements à Paris des résidents parisiens augmentent de manière significative - il y a un report modal du trafic important sur les bus dans Paris mais une variation moins importante sur le métro	-Effets moins important par rapport à une tarification de zone. - Plutôt bénéfique à la classe des usagers « pauvres »
	Petite couronne	Effets comparables à un cordon sur Paris mais par rapport à une aire géographique plus étendue	- Impacts légèrement plus importants qu'un cordon sur Paris mais moins importants qu' 'une tarification zonale - Plutôt bénéfique à la classe des usagers « pauvres »
Transports collectifs	Augmentation des Prix	- Report modal sur le mode privé - Augmentation de la congestion sur les routes	- L'augmentation de la tarification profite principalement aux usagers « riches » - Les effets sont plutôt positifs quand on tient compte des coûts pour augmenter les flux en période de pointe

Tableau 33: Tableau récapitulatif des aspects qualitatifs

C. Préliminaires d'une étude avec METROPOLIS

Une équipe de l'ENS de Cachan mène une étude sur la tarification de congestion en Île-de-France. Les travaux préliminaires sont présentés ici. Différents systèmes de tarification sont appliqués à l'Île-de-France pour observer les réactions des automobilistes en termes de choix de mode, d'itinéraire et d'heure de départ. Pour cela, nous utilisons le logiciel METROPOLIS, un simulateur dynamique capable de représenter le trafic sur un réseau routier à une échelle géographique et temporelle très fine (43 857 liens et 1289 origines ou destinations). Pour chacun des scenarii de tarification étudiés, différentes valeurs sont envisagées (voir Tableau 34).

Scénarios de péages urbains	**Description du scénario**	**Montant total (Euro)**	
		6AM – 10AM	**Reste du jour**
Situation de base – « au fil de l'eau »	Un unique péage déjà existant sur l'A14	7.8	5.7
Péage cordon sur Paris	Les individus entrant dans Paris doivent s'acquitter du péage.	7.8	5.7
Péages cordons pour Paris et la Petite Couronne	Les individus entrant dans Paris ou la Petite Couronne doivent s'acquitter du péage. S'ils traversent les deux, ils doivent payer deux fois.	7.8	5.7
Péage cordon pour la Petite Couronne	Les individus entrant dans la Petite Couronne doivent s'acquitter du péage.	7.8	5.7
		5	3.7
Péage de zone dans Paris	Les individus circulant dans Paris doivent s'acquitter du péage. Réduction pour les résidents suivant le modèle de Londres.	8€/jour 0,8€/jour pour les résidents dans Paris intra muros.	

Tableau 34 : Les différents projets de tarification envisagés en Île-de-France

Nous abordons 5 scenarii de tarification de la congestion dans ce travail. La situation de base correspond à la situation actuelle en Île-de-France où le seul péage en vigueur concerne l'autoroute A 14.

1. Le modèle de base

METROPOLIS est un logiciel de planification de trafic dynamique. Il a été développé à Genève par de Palma, Marchal et Nesterov (1997) puis appliqué à l'Université de Cergy-Pontoise par de Palma et Marchal (2002). Il est actuellement aussi utilisé à l'ENS Cachan. Il se fonde sur le principe économique décrit par Vickrey (1969). Pour une revue récente des modèles qui décrivent la congestion comme une fonction du temps écoulé dans une journée, nous renvoyons les lecteurs à de Palma et Fosgerau (2011).

METROPOLIS décrit conjointement les choix d'horaire de départ et d'itinéraire des automobilistes. Chaque véhicule est simulé individuellement par le logiciel. Cependant, la modélisation de la congestion sur chacun des tronçons routiers est réalisée à un niveau agrégé ou macroscopique. Une fonction de congestion décrit les délais de déplacement sur chaque tronçon et caractérise l'offre, alors la demande est représentée à un niveau microéconomique Chaque déplacement est modélisé selon le choix de mode, d'itinéraire et d'horaire de départ. METROPOLIS utilise un modèle Logit emboîté à deux étapes (*two-stage nested logit model*) qui prend donc en compte deux types de modes de transport, voiture ou transport en commun, dans le nœud supérieur, et un choix continu

pour l'heure de départ dans le nœud inférieur, de telle sorte que les déplacements ne sont pas répartis ex ante dans des intervalles de temps prédéfinis comme « heure de pointe » et « non-heure de pointe ».

Le coût généralisé du mode « voiture » inclut trois composantes : le coût du temps de déplacement, le coût du déshorage (coût d'arrivée en avance ou en retard) et les charges supportés par l'utilisateur. Cette fonction suit donc le modèle classique déjà décrit de Vickrey (1969).

METROPOLIS utilise un modèle de choix d'itinéraire fondé sur les temps de trajet dynamiques d'un point à un autre. L'utilisateur sélectionne l'itinéraire pour lequel le temps de trajet dynamique est le plus court. Cette décision est prise en fonction de la situation en temps réel sur les tronçons considérés, ainsi que sur le reste du réseau au-delà de la destination. Remarquons que dans MERTROPOLIS, une journée est équivalente à une itération. Le logiciel définit donc un processus d'apprentissage dans lequel les usagers acquièrent des connaissances sur leurs déplacements et utilisent ces informations pour modifier leurs choix de déplacement le jour suivant.

En ce qui concerne l'alternative « transport en commun », le coût généralisé d'un déplacement entre une origine et une destination données est considéré comme une donnée exogène et indépendante de l'horaire. Ainsi, les transports en commun n'ont pas d'externalités ni négatives ni positives, et les choix d'itinéraires et d'horaires de départ ne sont pas modélisés explicitement.

Le bien-être est mesuré à l'aide du surplus social, W. Le premier composant de W est le surplus des consommateurs, CS, qui prend en compte les externalités liées au temps de trajet et au déshorage. La seconde composante R est formée par les revenus du péage et des autres charges. Ces revenus sont multipliés par un coefficient de Coût d'Opportunité des Fonds Publics, $COFP$, fixé à 0,14[37]. La composante finale du surplus social est constituée des coûts monétarisés des externalités autres que la congestion. L'impact d'un projet de tarification sur le surplus social est donc donné par ΔW :

$$\Delta W = \Delta CS + (1 + COPF).\Delta R - \Delta C_{EXT}.$$

2. Calibrage du modèle

Le réseau d'Île-de-France est codé à l'aide de 1289 zones internes. 50 de ces zones représentent les points d'entrée/sortie de la région avec les régions voisines. Les arrondissements de Paris et les communes les plus grandes ont été divisés en plusieurs zones. Les communes les plus petites dans les franges périphériques de la région ont été agrégées. Finalement, notre réseau codifié contient 43 857 liens liés par 4 462 connecteurs.

a) Les paramètres de comportements

L'implémentation d'un simulateur dynamique requiert l'estimation de paramètres de comportement spécifiques à l'aire d'études. Les principaux paramètres nécessaires au calage de METROPOLIS sont la valeur du temps α, et les pénalités de deshorage, β pour l'arrivée en avance et γ pour l'arrivée en retard.

b) Estimation de α, β et γ

Cette étude est aussi l'occasion de comparer les résultats obtenus avec l'utilisation de différents paramètres de comportements. Ainsi, nous sommes en mesure de caler le modèle en utilisant les

[37] Cette valeur n'est pas arbitraire mais reprise de modèle macroéconomique développé par le Bureau du Plan.

paramètres issus de l'enquête MADDIF (Multimotifs Adaptée à la Dynamique des comportements de Déplacement en Ile-de-France) par de Palma et Fontan (2000), mais aussi ceux issus de l'enquête MIMMETIC décrits plus tôt.

Le rapport final du projet QUATUOR (de Palma et al. en 2002) nous offre des informations essentielles sur les déplacements en Île-de-France. Ainsi, une segmentation de la population a pu être faite selon le motif de déplacement et la destination (voir Tableau 35) :

	Effectif	α	B	γ	β/α	γ/α
Motif "travail" vers Paris et la Petite Couronne	648	0.081 (0.015)	0.038 (0.007)	0.047 (0.023)	0.469	0.580
Motif "travail" vers la Grande Couronne »	509	0.130 (0.022)	0.084 (0.013)	0.175 (0.045)	0.646	1.346
Autres motifs	544	0.089 (0.019)	0.036 (0.008)	0.073 (0.03)	0.404	0.820

Tableau 35 : Paramètres de comportement selon la destination et le motif – source : Rapport Final du projet QUATUOR (de Palma et al., 2002)

c) Horaires préférés d'arrivée

La distribution des horaires préférés d'arrivée pour les trajets d'une même catégorie sont présentés dans les Figure 25 et Figure 26, et le Tableau 36 :

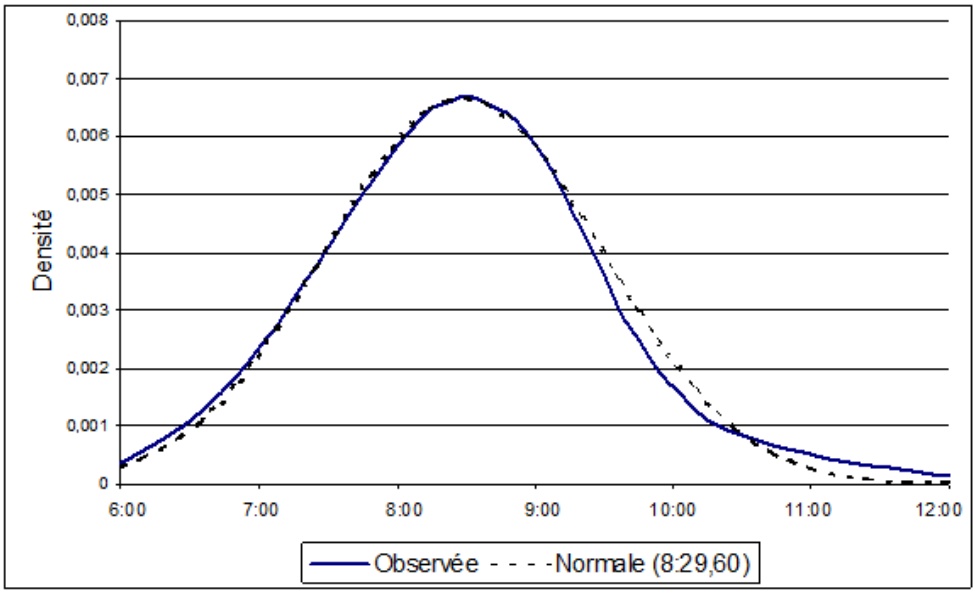

Figure 25: Distribution de l'heure d'arrivée des déplacements ayant pour motif le "Travail" vers Paris et Petite Couronne

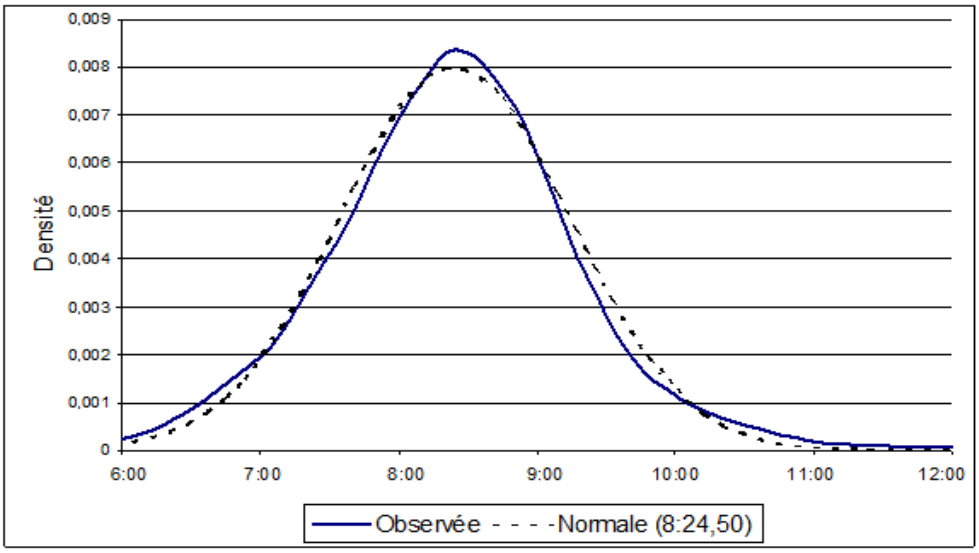

Figure 26 : Distribution de l'heure d'arrivée des déplacements ayant pour motif le "Travail" vers Grande Couronne

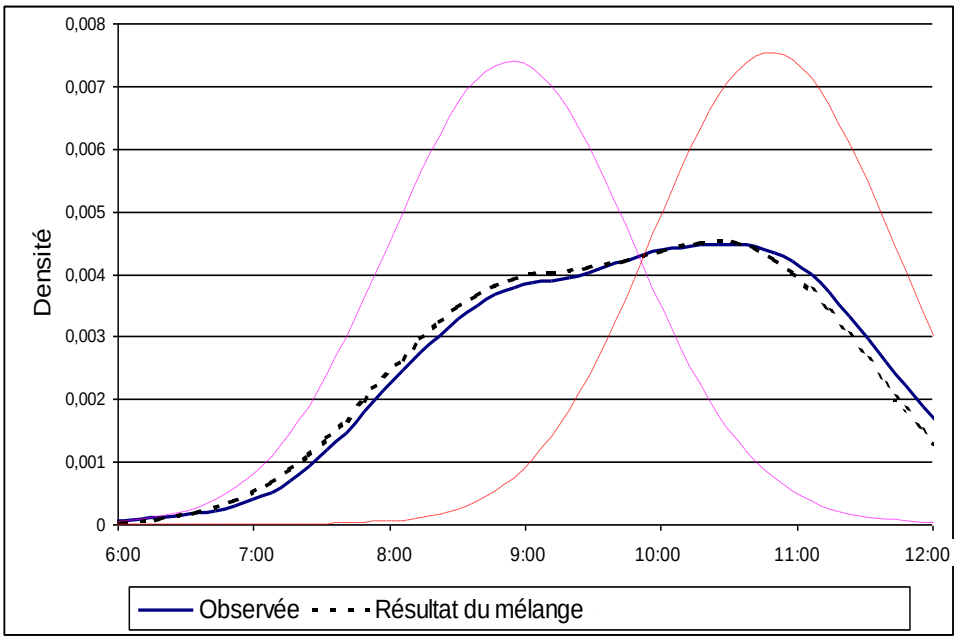

Figure 27 : Distribution de l'heure d'arrivée des déplacements "Autres motifs"

	Type de Distribution	Paramètres de distribution	
		Moyenne	Ecart -type. (min)
Motif “travail” vers Paris et la Petite Couronne	Normal	8:29	60
Motif “travail” vers la Grande Couronne »	Normal	8:24	50
Autres motifs			
Groupe 1 (46%)	Normal	8:54	54
Groupe 2 (54%)	Normal	10:49	53

Tableau 36 : Tableau synthétique des estimations

d) Bases de données utilisées

La modélisation dynamique en Île-de-France nécessite des données sur le réseau routier, la demande de transport, les paramètres de comportement, la distribution de l'horaire préféré d'arrivée, et différentes observations utiles pour le calibrage du modèle.

Description	Source	Année
Réseau routier	MODUS	2009
Demande de Transport	MODUS	2009
Paramètres de comportement des usagers	MADDIF PREDIT	2000 2012
distribution de l'horaire préféré d'arrivée	MADDIF	2000
Calibrage du modèle	MODUS EGT DIRIF	2009 2001 2009, 2010

Tableau 37 : Bases de données utilisées pour modéliser et calibrer le modèle

MODUS est un modèle de transport traditionnel à 4 étapes développé par la Direction Régionale de l'Equipement d'Île-de-France (DREIF), l'EGT est l'Enquête Globale de Transport et la DIRIF la Direction Interdépartementale des Routes d'Île-de-France.

3. Scénario de Base

Le modèle a été calibré en utilisant des flux de trafic sur certains liens sélectionnés (environ 14% du réseau total), des temps de trajet sur certains couples Origine-Destination sélectionnés, la distribution des heures de départ et d'arrivée et le temps de déplacement moyen. Pour de plus amples informations sur le processus de modélisation, les lecteurs peuvent s'intéresser au document de travail de de Palma, Motamedi et Saifuzzaman (2012). Ici, nous nous intéressons principalement d'une part à la calibration du modèle de base, d'autre part à l'application de différents projets de tarification de la congestion, et enfin nous comparons ces résultats avec le scenario de base.

Le scenario de base s'appuie sur la demande de transport estimée pour l'année 2009 par le modèle régional MODUS. Pour des raisons de gains de temps de simulation, nous ne conservons que 14% de l'échantillon initial, et toutes les autres composantes du modèle sont adaptées à cette modification.

L'Enquête Globale de Transport 2001 montre que le temps moyen de trajet en Voiture Personnelle est d'environ 19 minutes à l'heure de pointe du matin. Notre simulation suggère un temps moyen de trajet de 19,44 minutes entre 6 heures du matin et 10 heures, ce qui est très proche des observations de l'EGT. Cette même enquête montrait la répartition modale suivante : 50% Voiture Personnelle, 36% Transports en Commun et 14% Vélo/Marche à Pieds. METROPOLIS ne considère que deux modes de déplacement : la Voiture Personnelle et les Transports en Commun. La répartition simulée est 51,5% de déplacements en VP et 48,5 en Transports en Commun. Le coût moyen d'un déplacement en VP est d'environ 10,2 euros. L'indice de congestion, défini comme le rapport du temps de déplacement avec congestion sur le temps de déplacement sans congestion s'élève à 54%, ce qui signifie que les trajets sont moitié plus longs entre 6 et 10 heures que lorsqu'il n'y a pas de congestion. Le coût moyen de déshorage par déplacement s'élève à 3,4 euros. Environ 20% des voyageurs arrivent à l'heure, 54,3% arrivent en avance et le reste arrive en retard.

Les coûts externes combinés de bruit, d'accidents et d'émissions de CO2 (tous considérés comme proportionnels à la distance) s'élèvent à 0,83 euros par conducteur dans la fourchette basse de l'évaluation, et 1,50 euros par conducteur dans la fourchette haute.

	Scenario de Base	Description
Nombre de déplacements en Voiture Personnelle[38]	601 032	Nombre de déplacements faits par Voiture Personnelle (un individu par véhicule)
Part des TC (%)	48,48%	Part des individus qui choisissent d'utiliser les transports en commun
Temps de trajet (min)	19,44	Temps moyen de déplacement en VP
Coût de Trajet (€)	10,22	Coût moyen de déplacement en VP
Coût de déshorage (€)	3,40	Coût moyen de déshorage
Revenus du péage (€)	4 702,9	Revenus du péage collectés sur l'autoroute A14
Surplus des Consommateurs (€)	-9,38	Surplus des usagers
Equité (€)	6,02	Ecart-type de l'accessibilité
Arrivées en avance (%)	54,27	Pourcentage d'individus arrivés plus tôt que l'heure préférée d'arrivée
Arrivées à l'heure (%)	20,03	Pourcentage d'individus arrivés à leur heure préférée d'arrivée
Arrivées en retard (%)	25,70	Pourcentage d'individus arrivés plus tard que l'heure préférée d'arrivée
Congestion (%)	53,99	Ratio entre le temps de trajet observé (T) et le temps de trajet sans congestion (T_0), Congestion C = $(T-T_0)/T_0$
Vitesse (km/h)	45,85	Vitesse moyenne par véhicule
Distance parcourue (10^6 veh-km)	8,38	Somme des kilomètres parcourus en voiture
Distance par déplacement effectué en VP (km/veh)	13,94	Moyenne de la distance parcourue en voiture

Tableau 38 : Résultats Moyens et Agrégés

	Valeur basse	Valeur haute
Bruit des voitures (€)	21 864,49	46 744,78
Accidents des voitures (€)	291 777,88	291 777,88
Pollution des voitures (€)	75 478,57	353 182,75
Emissions de gaz à effet de serre (€)	104 715,00	204 236,14
Coût Social des fonds publics[39] (€)	5 361,31	5 361,31
Coûts externes totaux[40] (€)	499 197,25	901 302,85
Coûts externes par conducteur (€)	0,83	1,50

Tableau 39 : Externalités liées au transport par Voiture Personnelle

Il est possible d'observer les temps de trajet à partir d'une seule origine vers différentes destinations. C'est aussi un indicateur d'accessibilité de la zone observée. La Figure 28 est une carte isochrone montrant les temps de trajet à partir de la station du Châtelet.

[38] Basé sur 10% de la demande de transport du matin
[39] Coût Social des fonds publics : revenus du péage multiplié par le coût d'opportunité des fonds publics
[40] Coûts externes totaux : somme des autres coûts

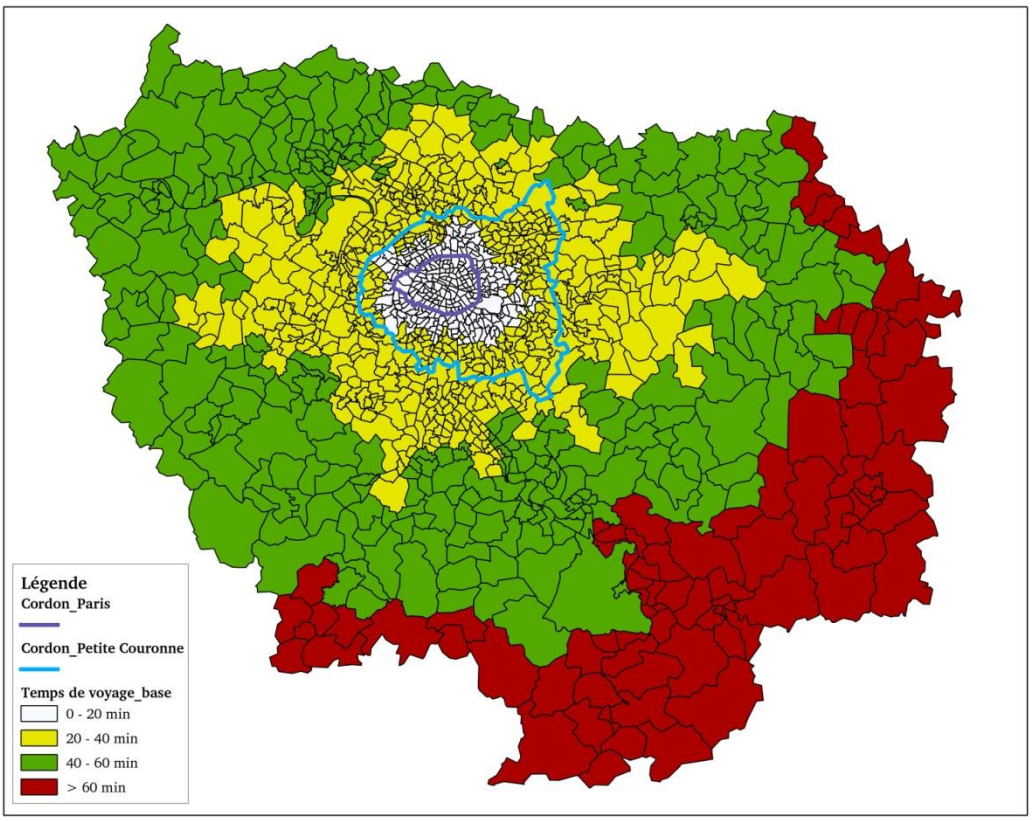

Figure 28 : Isochrones du centre de Paris (Chatelet) vers chacune des zones pendant la période du matin (6-10h) en situation de base

Cette carte montre que, dans la situation de base, il faut au plus 20 minutes pour aller du centre de Paris (Châtelet) vers n'importe quelle zone de Paris intra-muros.

4. Résultats des différents projets de tarification de la congestion

a) Méthode

Afin d'étudier l'impact des différents types de péage, nous introduisons sur chaque lien du réseau concerné une charge financière supportée par les usagers de ce lien, comme le montre la carte sur la Figure 29.

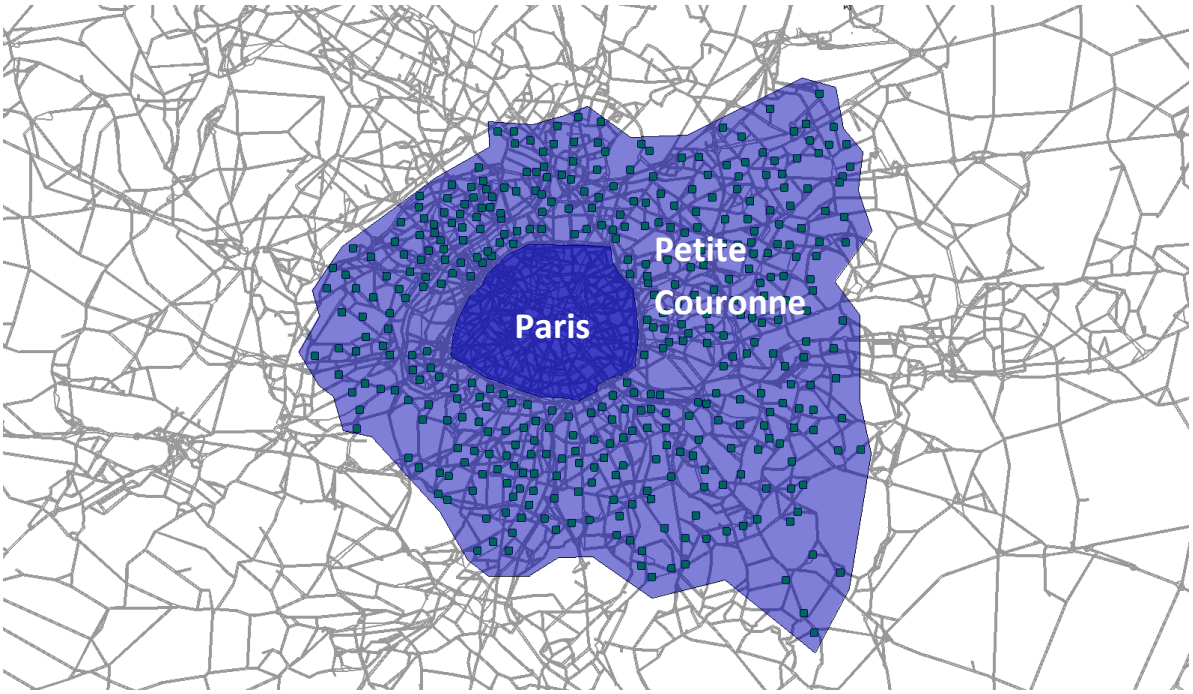

Figure 29 : Carte des projets de tarification proposés dans le modèle METROPOLIS

Cette carte est constituée du réseau tel qu'il est pris en compte par METROPOLIS. Les zones sont représentées par de simples points comme dans tout modèle de trafic. On distingue deux zones potentiellement soumises à un péage de zone ou cordon : Paris et la Petite Couronne.

b) Résultats agrégés

Les résultats agrégés représentent la performance du réseau pris dans son ensemble. Le Tableau 40 contient les résultats agrégés du scenario de base, du péage cordon autour de Paris et des péages cordons pour Paris et la Petite Couronne. Les évolutions entre le scenario de base et les scenarii avec péage sont elles-aussi représentées. De la même manière, les résultats agrégés et les évolutions des autres projets de péage sont disponibles dans le Tableau 41.

	Situation de Base	Péage Cordon autour de Paris (7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors)	Différence[41]	Péages cordons pour Paris et la Petite (7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors)	Différence
Nombre de véhicules	601032	593758	-1,2%	574516	-4,41%
Part TC (%)	48,48%	49,12%	0,6%	50,76%	2,28%
Temps de transport (min)	19,44	19,21	-1,2%	18,28	-5,98%
Coût de transport (€)	10,22	10,23	0,2%	10,17	-0,44%
Coût net[42] (€)	10,21	10,11	-1,0%	9,72	-4,82%
Coût de déshorage (€)	3,40	3,38	-0,6%	3,31	-2,50%
Revenu du péage (€)	4 703	74 453		261 317	
Surplus du consommateur (€)	-9,384	-9,409		-9,568	
Surplus Net[43] (€)	-9,376	-9,284	0,092	-9,113	0,2634
Equité (€)	6,02	5,60	-0,43%	6,25	3,81%
Ratio d'arrivées en avance (%)	54,27	54,28	0,01%	54,87	1,11%
Ratio d'arrivées à l'heure(%)	20,03	20,28	1,22%	20,58	2,74%
Congestion (%)	53,99	52,52	-2,72%	46,92	-13,08%
Distance totale parcourue (10^6 veh-km)	8,38	8,31	-0,80%	7,90	-5,64%
Vitesse (km/h)	45,85	46,56	1,55%	48,20	5,14%

Tableau 40: Résultats agrégés de l'introduction d'un péage cordon autour de Paris

[41] Evolution par rapport à la situation de base

[42] Coût net = coût de transport – revenu du péage/nombre de déplacements par voiture

[43] Surplus net = surplus du consommateur – revenu du péage/ nombre de déplacements par voiture

	Péage cordon autour de la Petite Couronne (7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors)	Diff.	Péage cordon autour de la Petite Couronne (5,3€ en période de pointe et 3,7€ en dehors)	Diff.	Péage de zone dans Paris (0,8€ pour les résidents dans Paris et 8€ pour les autres)	Diff.
Nombre de véhicules	581840	-3,2%	584725	-2,7%	584034	-2,8%
Part TC (%)	50,12%	1,6%	49,89%	1,4%	49,95%	1,5%
Temps de transport (min)	18,59	-4,4%	18,70	-3,8%	18,93	-2,6%
Coût de transport (€)	10,18	-0,3%	10,16	-0,6%	10,18	-0,4%
Coût net[44] (€)	9,84	-3,6%	9,88	-3,2%	10,02	-1,8%
Coût de déshorage (€)	3,33	-2,1%	3,33	-2,1%	3,39	-0,2%
Revenu du péage (€)	199551		165072		91101,88	
Surplus du consommateur (€)	-9,544		-9,514		-9,495	
Surplus Net[45] (€)	-9,201	0,175	-9,232	0,144	-9,339	0,037
Equité (€)	6,25	3,8%	6,18	2,6%	6,03	0,2%
Ratio d'arrivées en avance (%)	54,88	1,1%	55,20	1,7%	55,48	2,2%
Ratio d'arrivées à l'heure(%)	20,44	2,0%	20,35	1,6%	20,04	0,0%
Congestion (%)	48,66	-9,9%	48,70	-9,8%	49,61	-8,1%
Distance totale parcourue (10^6 veh-km)	8,01	-4,4%	8,10	-3,3%	8,21	-2,0%
Vitesse (km/h)	47,47	3,5%	47,47	3,5%	47,54	3,7%

Tableau 41 : Résultats agrégés de l'introduction d'un péage cordon autour de la Petite Couronne

Les Tableau 40 et Tableau 41 montrent que le coût de déplacement augmente légèrement avec un péage cordon autour de Paris en raison des frais de péage, mais que le coût net, qui prend en compte la redistribution des revenus du péage, décroit pour tous les scenarii de tarification envisagés par rapport à la situation de base. La mise en place simultanée de deux péages cordon autour de Paris et de la Petite Couronne constitue la solution qui permet la plus grande diminution du coût de transport.

Le surplus des consommateurs est toujours inférieur en situation de tarification, car ces usagers doivent payer le péage. Cependant, un gain net est possible, ce qui prouve que les usagers tirent des bénéfices du péage à long terme.

[44] Coût net = coût de transport – revenu du péage/nombre de déplacements par voiture
[45] Surplus net = surplus du consommateur – revenu du péage/ nombre de déplacements par voiture

Les autres indicateurs de performance du réseau tels le temps de trajet, le coût de déshorage, la congestion, le ratio d'arrivée à l'heure ou la vitesse sont aussi l'objet de changements significatifs. Nous observons que les individus préfèrent en moyenne arriver en avance lorsque qu'est mis en place un système de tarification de la congestion. La distance totale parcourue diminue dans tous les scenarii étudiés, car des voyageurs préfèrent utiliser les transports en commun plutôt que leur voiture personnelle en raison du surcoût induit par la mise en place des péages.

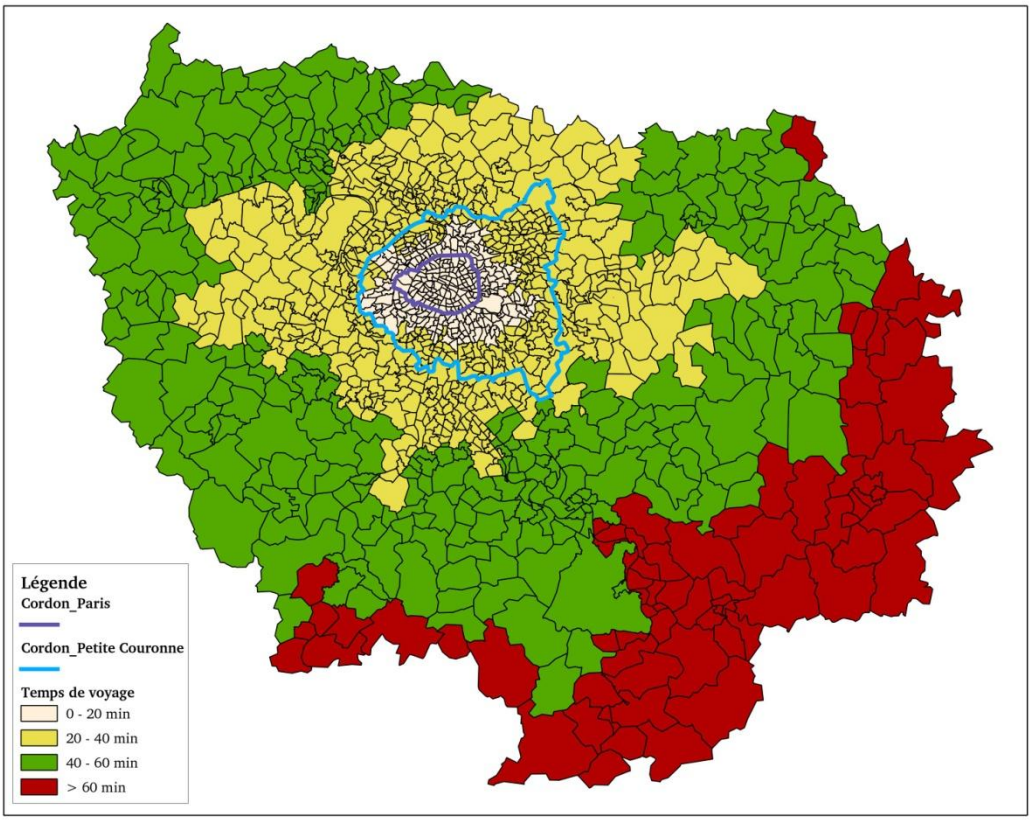

Figure 30 : Isochrones du centre de Paris (Chatelet) vers chacune des zones pendant la période du matin (6-10h) avec introduction de deux péages cordon

L'introduction de deux péages cordons repousse certaines zones plus loin de Châtelet dans l'espace-temps. Il faut donc identifier quelles zones sont les plus discriminées par ces mesures de tarification et vérifier si des options alternatives composées de transport en commun sont disponibles afin de ne pas trop les pénaliser.

c) Coûts externes et revenus

Les impacts des péages cordons sur les coûts externes et les revenus sont résumés dans le Tableau 42 : Coûts externes et Revenu du péage Cordon autour de Paris. Les impacts annuels sont calculés en prenant pour hypothèse que deux voyages par jour sont faits par chaque individu 300 jours par an.

Les coûts externes liés au bruit, à la pollution et aux gaz à effet de serre sont considérés comme proportionnels à la distance parcourue. Par conséquent, pour chaque scenarii les évolutions sont de même ampleur. La baisse des coûts externes engendrée par le péage cordon autour de Paris est comprise entre 1,9 et 2,8%.Une grande partie du gain des usages imputable au péage (235,31 millions d'euros/an) est constituée du gain des usagers (235,31 millions d'euros/an) plutôt que de la

réduction des coûts externes (entre 59 et 72 millions d'euros). Un résumé du revenu annuel collecté et du gain de bien-être est disponible dans le Tableau 43.

	Péage Cordon autour de Paris (7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors)	
	Fourchette basse	Fourchette haute
Bruit des voitures (€)	21 690 (-0,8%)	46 373 (-0,8%)
Accidents des voitures (€)	289 455 (-0,8%)	289 455 (-0,8%)
Pollution des voitures (€)	74 878 (-0,8%)	350 371 (-0,8%)
Emissions de gaz à effet de serre (€)	103 881 (-0,8%)	202 610 (-0,8%)
Coût d'opportunité des fonds publics (€)	-10 423	-10 423
Total des coûts externes (€)	479 481 (-2,8%)	878 385 (-1,9%)
Evolution du coût social (€)	-13 697	-16 899
Revenu du péage (€10^6/an)	319,09	319,09
Gain des usagers (€10^6/an)	235,31	235,31
Réduction des coûts externes (€10^6/an)	59	72
Gain Total (€10^6/an)	294,01	307,73

Tableau 42 : Coûts externes et Revenu du péage Cordon autour de Paris

Nous observons dans le Tableau 43 que la mise en place simultanée de péages cordon autour de Paris et de la Petite Couronne permet de collecter le plus haut revenu. Un individu vivant dans la Grande Couronne et voulant se rendre à Paris doit payer deux fois le péage. Il est intéressant de noter que bien qu'entre les deux scenarii de péage cordon autour de la Petite Couronne l'augmentation du montant du péage soit de 56%, le revenu du péage et le gain de bien-être n'augmentent respectivement que de 21 et 23%. Il n'y a donc pas de lien de proportionnalité entre montant du péage et gains de bien-être et de revenu. Cependant, le gain de bien-être augmente avec la mise en place de péage. Dans tous les scenarii excepté celui du péage de zone dans Paris, les bénéfices des usagers sont supérieurs à la réduction des coûts externes.

Projet	Description	Revenu (€10^6 /an)	Gain des usagers (10^6 €/an)	Diminution des coûts externes (10^6 €/an)	Gain de bien-être (10^6 €/an)
Péage Cordon autour de Paris	7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors	319,09	235,31	65,5	300,81
Péages cordons pour Paris et la Petite	7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors	1119,95	648,56	322	970,56
Péage cordon autour de la Petite Couronne	7,8€ en période de pointe et 5,7€ en dehors	855,24	436,74	246,5	683,24
Péage cordon autour de la Petite Couronne	5,3€ en période de pointe et 3,7€ en dehors	707,46	361,57	195,5	557,07
Péage de zone dans Paris	(0,8€ pour les résidents dans Paris et 8€ pour les autres)	390,44	93,27	202,09	295,36

Tableau 43 : Principaux résultats statistiques des différents projets de tarification

Bilan

Dans cette étude, différents scenarii de tarification de la congestion sont analysés. Des améliorations considérables de la performance sur les réseaux ont été observées. Les meilleurs résultats ont été observés lors de la mise en place simultanée de deux péages cordons, l'un autour de Paris et l'autre autour de la Petite Couronne, que ce soit pour la performance du réseau ou le gain de bien-être. Les différents impacts selon les zones peuvent être représentés sur une carte, et il semble important d'utiliser les revenus du péage pour gommer cette hétérogénéité géographique en augmentant la couverture du territoire des transports en commun

De Palma et Lindsey (2006) ont conduit une étude similaire en utilisant la demande de transport de l'année 2002. Bien que les projets de tarification soient différents de ceux abordés plus hauts, l'un des scenarii alors abordés est assez proche de notre étude. Ainsi, dans la situation d'un péage cordon autour de Paris, le revenu du péage et le gain de bien-être obtenu par de Palma et Lindsey s'élevaient respectivement à 331 et 346 millions d'euros par an, alors que METROPOLIS prédit un revenu et un gain de 319 et 300 millions d'euros par an.

Lorsque nous comparons les résultats obtenus avec METROPOLIS avec ceux obtenus par de Palma et al. (2011) dans leur étude de Paris en tant que ville monocentrique, nous observons que METROPOLIS prédit une réduction de la congestion plus importante (-10% pour METROPOLIS contre -6% pour la ville monocentrique) dans la situation d'un péage cordon autour de la Petite Couronne. Le prix du péage dans l'analyse monocentrique étant trois fois supérieur à celui donné dans

METROPOLIS, l'augmentation du surplus du consommateur y est également plus importante (181€/an contre 105€/an dans METROPOLIS).

Enfin, nous avons la possibilité de comparer les résultats obtenus avec METROPOLIS et ceux obtenus précédemment dans la Section IV B. Pour le même scenario de péage, à savoir un péage cordon autour de la Petite Couronne, METROPOLIS montre un surplus du consommateur de 105€/an alors que le modèle « classique » obtient un surplus de 77€/an.

Toutes ces comparaisons montrent bien que l'étude dynamique de la tarification de la congestion produit des résultats cohérents, et ces résultats sont le plus souvent plus solides que ceux produits par les modèles classiques statiques.

VI. Choix des horaires de déplacements, structure urbaine et analyse géographique de l'acceptabilité

La congestion à l'heure de pointe du matin est un problème majeur de la vie dans les villes. Les retards et augmentations de délai dus à la congestion constituent des freins majeurs pour l'activité économique et notamment l'industrie. C'est pourquoi une grande attention a été portée aux mesures politiques permettant de réduire la congestion, comme par exemple la tarification.

L'étude du choix des horaires de déplacement en fonction de la congestion apporte des perspectives intéressantes. Notons que l'horaire de départ est un choix des voyageurs et que la congestion augmente car ceux-ci choisissent de voyager au même moment. Il est donc possible de remédier à la congestion en modifiant les comportements de choix des horaires de déplacement. La construction et l'évaluation des plans de tarification devraient donc prendre en compte de manière explicite le choix de l'horaire de départ, en particulier lorsque la charge des transports en commun varie dans le temps et que le niveau de congestion varie au cours de la journée. L'incapacité à prendre en compte ce choix des horaires de déplacement conduit à l'impossibilité de prendre conscience des bénéfices importants et conduit à un système de tarification sous-optimal.

Une très grande majorité des modèles de trafic ne prend pas en compte le choix de l'horaire de déplacements. Un grand travail est encore nécessaire pour rendre ces modèles suffisamment réalistes sur cet aspect et dans le même temps suffisamment simples pour pouvoir être applicables. De plus, de nombreux défis conceptuels sont encore adressés aux chercheurs sur se sujet.

Il est ainsi important de pouvoir modéliser le choix des horaires de déplacement dans un contexte urbain. La principale difficulté réside dans le fait que les voyageurs sont localisés à différentes distances de leur destination et qu'ils font face à des contraintes d'emploi du temps différentes. Cela a un impact sur leur choix et sur l'équilibre qui en résulte. Ainsi, la forme de l'heure de pointe dépend de la structure spatiale de la ville. Les structures spatiales doivent donc être prises en compte dans la construction des péages. L'évaluation prospective incite à atteindre cet objectif dans un modèle analytique.

A. Un essai de modélisation

Le modèle présenté ici intègre deux aspects fondamentaux de la congestion urbaine étudiée au moment le plus critique de la journée, l'heure de pointe du matin. Le premier aspect est la dynamique de ce phénomène. En effet, la congestion à un instant de la journée affecte les conditions de circulation plus tard dans la journée à travers la persistance des files d'attente et les phénomènes d'hystérèses. Le second aspect concerne la distribution spatiale des origines des déplacements. Nous analysons comment ces deux aspects entrent en interaction dans une ville caractérisée par un rétrécissement de la chaussée en son centre, et offrons des résultats concernant la tarification optimale.

1. Contexte théorique

La dynamique de la congestion a été étudiée à travers le modèle de base de rétrécissement de la chaussée de Vickrey(1969) et Arnott et al., (1993). Ce modèle saisit l'essence de cette dynamique de la manière simple et soluble. D'un point de vue analytique, les voyageurs sont définis par des préférences relatives à leur emploi du temps. Cela se traduit par le compromis entre coût du temps de trajet et coût de déshorage. L'étude s'intéresse à l'équilibre dans les choix de l'heure de départ des voyageurs. Cependant, notre analyse a pour principal inconvénient de ne pas ou peu prendre en compte la spatialité de la ville.

Les voyageurs effectuent un trajet d'une distance c (mesurée en unité de temps) jusqu'à ce qu'ils atteignent le rétrécissement la chaussée à l'instant a. Ils quittent ensuite le rétrécissement de chaussée pour arriver à leur destination finale à l'instant t. Ils préfèrent toujours partir plus tard et toujours arriver plus tôt. Ces préférences peuvent être exprimées à travers la formulation devenue classique proposée par Vickrey (1969) du coût généralisé de transport : $\alpha.c + \alpha.(t-a) + D(t)$ où α est la valeur du temps, $t-a$ le temps passé dans l'embouteillage et $D(t) = \beta.\max(0, t^* - t) + \gamma.\max(0, t - t^*)$ est une fonction convexe qui capture les coûts de deshorage relativement à une heure préférée d'arrivé t^*.Ce modèle est souvent appelé le modèle « $\alpha - \beta - \gamma$ ». La formulation de Vickrey est séparément additive dans la durée du déplacement et l'heure d'arrivée est linéaire dans la durée du déplacement. Il est donc clair que la distance c de l'origine à l'embouteillage n'est pas importante pour l'analyse de la façon dont les voyageurs programment leur arrivée au début de l'embouteillage et la congestion qui s'ensuit[46].

Généralement, il n'est pas pertinent de considérer que la distance entre l'origine et la destination d'un déplacement suffit pour caractériser le choix de l'horaire du déplacement. Si nous considérons un voyageur qui préfère toujours partir plus tard et arriver plus tôt et fait face à une durée de trajet fixe indépendante de l'heure de départ, ce voyageur organisera de manière optimale son déplacement en égalisant l'utilité marginale procurée par sa présence sur le lieu de départ à l'instant du départ et celle procurée par sa présence sur le lieu d'arrivée à l'instant d'arrivée. Si l'utilité marginale de présence à l'origine est décroissante et l'utilité marginale associée à la présence à destination augmente, alors une augmentation du temps de trajet incitera ce voyageur à partir plus tôt et arriver plus tard. En ce sens, la distance compte dans l'organisation des déplacements.

[46] L'analyse du modèle du goulot d'étranglement (*bottleneck model*) a été développé et étendue dans différentes directions par Arnott, de Palma et Lindsey dans un ensemble d'articles, notamment Arnott et al. (1993).

La congestion peut augmenter lorsqu'il y a un rétrécissement de chaussée et si plusieurs individus souhaitant utiliser cette voie en même temps. Le fait que les voyageurs aient des choix d'horaire de déplacement similaires n'est pas une condition suffisante pour créer de la congestion. Les origines des déplacements doivent aussi être localisées à une distance semblable du rétrécissement de la chaussée. Si les points de départs sont suffisamment dispersés, alors la congestion n'augmente pas puisqu'il n'y a pas de passages simultanés dans le rétrécissement de la chaussée. Il est dès lors évident que la distribution spatiale de la demande de transport est un déterminant fondamental de la congestion urbaine. Cette observation s'inscrit en contraste avec le modèle urbain standard, dans lequel la congestion est une fonction croissante de la dispersion de la population. Ce dernier modèle est statique et ignore la dynamique de la congestion.

Le travail que nous présentons est le premier à introduire de l'hétérogénéité spatiale dans un modèle avec rétrécissement de la chaussée. Ici, l'hétérogénéité est introduite par la structure de la ville. Bon nombre d'anciennes contributions introduisent de l'hétérogénéité spatiale en faisant varier $\alpha - \beta - \gamma$ tout en maintenant fixe le ratio β/α pour des raisons de commodité analytique. Généralement, ce type d'hétérogénéité incite les voyageurs à se classer en fonction du degré de proximité du centre de la congestion la plus haute. Ainsi, si l'on introduit deux groupes de voyageurs, l'un des groupes occupera l'intervalle de temps central alors que l'autre occupera les parties extrêmes de l'intervalle horaire. Au contraire, ce travail montre que les voyageurs se « rangent » en fonction de leur distance au rétrécissement de la voie ; ce constat est valable dans une situation sans péage, mais aussi dans une situation avec péage optimal. Hendrickson et Kocur (1981), Smith (1984), Newell (1987), et Arnott et al. (1994) traitent le cas où les voyageurs ont des préférences de choix dans leurs horaires de déplacement, tels $\alpha - \beta - \gamma$, qui sont additivement distinctes dans la durée du trajet et l'heure d'arrivée et diffèrent dans l'heure préférée d'arrivée. Dans ce cas, les voyageurs se rangent dans le temps selon leur horaire préféré d'arrivée, ce qui est similaire à ce que nous obtenons ici. Kuwahara (1990) étend cette analyse à la géométrie en considérant deux aires résidentielles et un centre qui regroupe les emplois (CBD) avec un rétrécissement de chaussée entre les deux. Les voyageurs à l'intérieur de chaque groupe se rangent toujours en fonction de leur horaire d'arrivée préféré. Le modèle utilisé ici est plus complet puisque les voyageurs sont localisés à différentes distances du centre, et que les préférences dans le choix des horaires ne sont dissociables.

Daganzo (2007) et Geroliminis et Daganzo (2008) montrent que la congestion par rétrécissement de la chaussée peut décrire différentes situations de congestion urbaine. Une mesure spatiale du trafic montre que le taux d'achèvement des trajets est une fonction en U inversé du nombre de véhicules présents dans le système. Les voitures qui n'ont pas achevé leur déplacement demeurent dans l'aire urbaine de telle sorte qu'il est possible de penser le système comme une file d'attente généralisée (Geroliminis et Levinson, 2009). Le modèle de rétrécissement de la chaussée suppose un taux constant d'achèvement des déplacements et un système de file d'attente qui maintient une priorité « premier rentré – premier sorti ».

2. Résultats

Cette analyse montre en premier lieu que dans une situation de laissez-faire, les voyageurs se rangent dans la file d'attente selon leur proximité au rétrécissement de la chaussée de telle sorte que les plus proches du rétrécissement seront ceux qui atteindront leur destination les premiers. Cependant, il n'existe pas en général de relation monotone entre distance et horaire de départ ; les

individus localisés le plus loin du rétrécissement ne sont pas nécessairement ceux qui partent le plus tôt. Ces observations se traduisent bien sûr par des niveaux d'acceptabilité du péage urbain différents.

Dans un second temps, nous considérons attentivement l'équilibre d'un péage appliqué au rétrécissement de la chaussée sous contrainte d'optimum social. Le montant du péage peut être fixé à 0 pour le(s) premier(s) et dernier(s) voyageur(s). Le péage optimal supprime toute file d'attente. Cependant et contrairement à l'analyse de Vickrey (1969) ou Arnott et al. (1990) qui étudie des voyageurs homogènes, les arrivés à destination se font plus tôt dans la situation d'optimum social que dans une situation de laissez-faire. Lorsque les revenus de l'usage du péage n'affectent pas l'utilité des voyageurs, alors le péage représente seulement une perte pour eux, qui est compensée dans une certaine mesure par un gain en utilité. La comparaison entre l'optimum social et le laisser-faire révèle que les personnes localisées le plus loin du rétrécissement auront un gain net, alors que celles qui en sont le plus proche subiront une perte nette. Les bénéfices du péage (et les coûts) ne sont pas distribués de manière homogène dans l'espace.

Quelques idées nouvelles ont été produites à partir de ce travail. La plus importante est peut-être que les voyageurs localisés près du rétrécissement auront tendance à subir une perte lors de l'application d'un péage par rapport à l'optimum social, et au contraire les voyageurs habitant le plus loin de ce rétrécissement auront un gain.

3. Perspectives scientifiques

La distribution spatiale des voyageurs est une source d'hétérogénéité dans le modèle. Il serait intéressant d'en introduire d'autres. La propriété de classement dans la file d'attente représente cependant une difficulté. Il serait aussi possible d'introduire le facteur risque dans le modèle, par exemple sous la forme d'une capacité aléatoire qui traduit les risques d'accident (Arnott et al., 1999) ou un classement aléatoire dans la file d'attente (voir à ce propos de Palma et Fosgerau, 2011).

La mise en place de tarification augmente l'usage des transports en commun dans certaines zones, et augmente la part des déplacements effectués en voiture dans d'autres zones. Il serait intéressant de distinguer ces différents types de zone, car cela pourrait aider dans la prise de décisions des améliorations à apporter dans les zones selon la demande. La Figure 31 montre pour chaque zone les évolutions de choix modal lors de la mise en place de péages autour de Paris et de la Petite Couronne. Les individus vivant en dehors des zones soumises à un péage mais proche des péages cordons ont tendance à utiliser davantage les transports en commun pour réduire leur coût de déplacement. Ce type de carte offre des rendus très intéressants pour étudier la dynamique géographique de l'acceptabilité des péages urbains et constitue un outil d'aide à la décision pertinent.

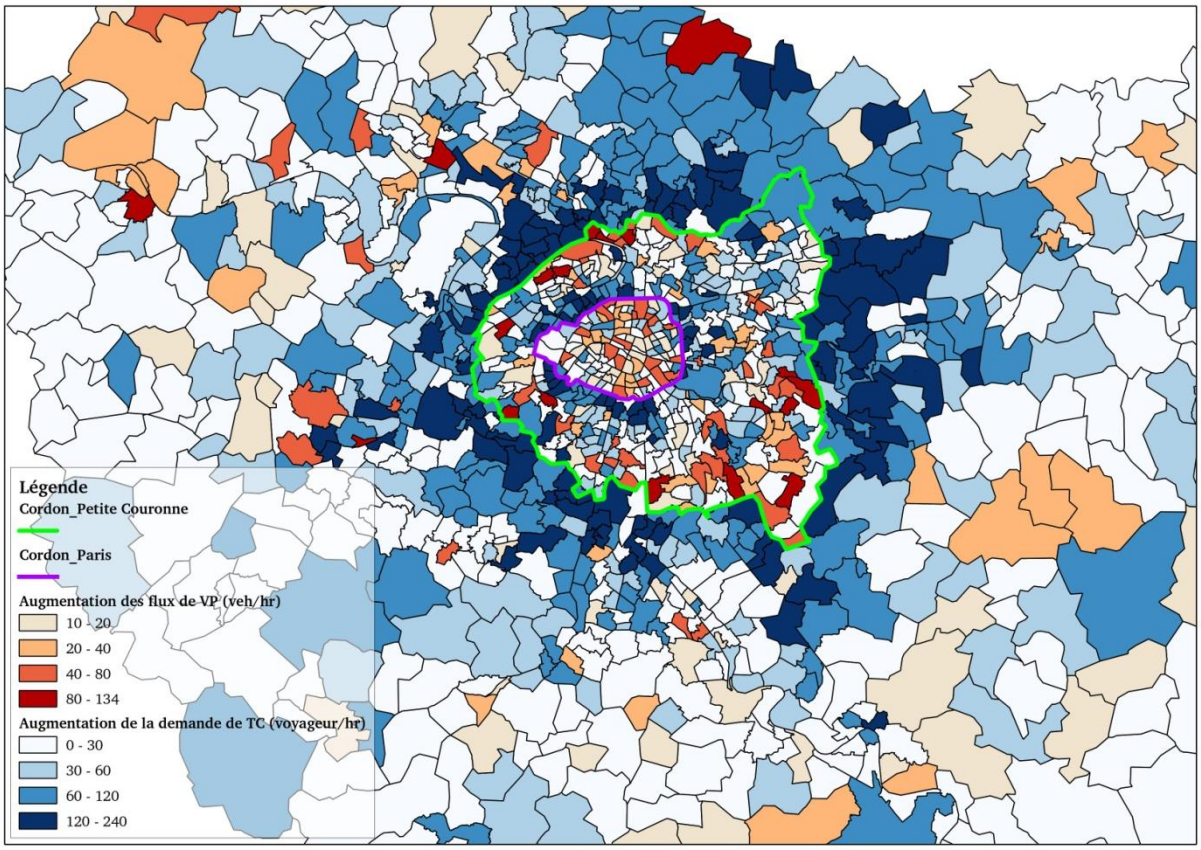

Figure 31 : Changement dans le choix du mode en raison de l'introduction de deux péages cordon

Une extension très intéressante serait l'endogénéisation de la localisation des individus, comme l'a fait Mirrlees (1972) pour le modèle urbain standard. Cela associerait la dynamique de la congestion avec les modèles économiques urbains.

B. Quelques résultats issus de l'enquête MIMETTIC

La base de données agrégée, sans distinction de statut entre les personnes répondantes, comprend 3 014 observations pour 9 questions ayant donné 25 jeux de réponses.

1. Connaissance des péages existants

Le premier jeu de questions posées porte sur la connaissance des villes déjà équipées d'un système de péage urbain. La personne répondante coche les villes qu'elle pense être dans cette catégorie parmi 8 possibilités, dont seulement 4 sont des villes effectivement dotées d'un péage urbain (à savoir Londres, Stockholm, Singapour et Oslo,) tandis que les autres ne le sont pas (à savoir Bologne, Pékin, Madrid et autre ville). Si une majorité (2 318 répondants, soit 76,91% de l'échantillon) pensent que Londres possède un péage, ils sont une minorité à penser que Stockholm (493 répondants, soit 16,36% de l'échantillon), Singapour (415 répondants, soit 13,77% de l'échantillon) et Oslo (346 répondants, soit 11,48% de l'échantillon) possèdent un péage. D'autre part, ils sont également une minorité à penser à tort que Bologne (128 répondants, soit 4,25% de l'échantillon), Pékin (465 répondants, soit 15,43% de l'échantillon), Madrid (333 répondants, soit 11,05% de l'échantillon) et d'autres villes possèdent un péage (373 répondants, soit 12,38% de l'échantillon). On peut donc en conclure que si les personnes sondées sont au courant de l'existence du péage de Londres (du fait de la couverture médiatique qui en a été faite depuis 2003). Il n'en va pas de même pour les autres expériences de péages urbains, pouvant pour certaines être plus anciennes (dont celle de Singapour remontant à 1998).

2. Opinion sur les effets des péages

Le second jeu de questions posées vise à connaître la perception des effets d'un péage urbain, la personne répondant cochant soit *« Oui »* soit *« Non »* soit *« Je ne sais pas »* pour 6 propositions d'effets concernant les péages urbains. Les résultats sont repris dans le Tableau 44.

Question	Oui	Non	Je ne sais pas
Les péages urbains sont efficaces pour réduire les embouteillages ?	1 403 46,55%	1 089 36,13%	522 17,32%
Les péages urbains améliorent la qualité de l'air ?	1 390 46,12%	1 065 35,34%	559 18,55%
Les péages urbains améliorent la circulation des voitures, des deux roues et piétons ?	1 489 49,40%	965 32,02%	560 18,58%
Les péages urbains favorisent les transports en commun ?	1 917 63,60%	681 22,59%	416 13,80%
Les péages urbains sont un élément qui accentue encore la différence entre riches et pauvres ?	1 939 64,33%	587 19,48%	488 16,19%
Les péages urbains sont une atteinte à la liberté de déplacements ?	1 765 58,56%	805 26,71%	444 14,73%

Tableau 44: Opinions sur les effets des péages - Source : Enquête MIMMETIC, 2012

Nous pouvons voir à travers ce tableau que les péages urbains sont encore mal connus des répondants, puisque qu'entre 15% et 20% d'entre eux s'abstiennent de répondre pour chaque question. Cependant, les effets sur les transports en commun semblent bien identifiés puisque 63,60% de notre échantillon pensent qu'un péage urbain leur sera favorable. Nous observons de même une grande préoccupation pour l'équité d'une telle mesure. En effet, 64,33% des répondants pensent que la mise en place d'un péage accentuera la différence entre riches et pauvres.

3. Acceptation d'un péage urbain à Paris

Le troisième jeu de questions posées vise à connaître le degré d'acceptation d'un péage urbain autours de Paris, la personne répondante cochant soit *« Très favorable »*, soit *« Favorable »*, soit *« Défavorable »*, soit *« Très défavorable »*. Les résultats sont les suivants.

- 344 sondés répondent *« Très favorable »* (11,41% de l'échantillon),
- 781 sondés répondent *« Favorable »* (25,91% de l'échantillon),
- 867 sondés répondent *« Défavorable »* (28,77% de l'échantillon),
- 1022 sondés répondent *« Très défavorable »* (33,91% de l'échantillon).

De fait, la répartition globale est de 37,33% de réponses en faveur du péage et 62,67% qui y sont opposés. En tenant compte du fait que les personnes répondants *« Très favorable »* ou *« Très défavorable »* sont moins susceptibles que les autres de modifier leur choix, nous pouvons fournir la répartition globale entre choix définitif (45,32%) et choix pouvant évoluer dans un sens ou dans l'autre (56,68%). De même, à l'intérieur du groupe des personnes favorables, 30,58% des répondants ont un choix définitif (54,10% dans le groupe des personnes défavorables) et 69,42% ont un choix pouvant évoluer (45,90% dans le groupe des personnes défavorables). De manière concrète, si l'on veut dégager une majorité globalement en faveur du péage urbain, il faut convaincre 44,06% des personnes ayant répondu *« Défavorable »* de changer leur réponse en *« Favorable »*.

Nous supposons que suite à un référendum favorable, la décision de mettre en place un péage urbain autour de Paris a été prise. 4 scénarii de tracé sont à l'étude et il a été demandé aux personnes sondées de répondre sur chacun soit par *« Oui, comme seul et unique péage »*, soit par *« Oui, en association avec un ou plusieurs autres péages »*, soit par *« Non »*. Les résultats sont :

- Pour l'acceptation du tracé rose, une majorité des sondés a répondu *« Non »* (1 682 répondants, soit 55,81% de l'échantillon), contre une minorité ayant répondu *« Oui, comme seul et unique péage »* (1 016 répondants, soit 33,71% de l'échantillon) et une autre minorité ayant répondu *« Oui, en association avec un ou plusieurs autres péages »* (316 répondants, soit 10,48% de l'échantillon),
- Pour l'acceptation du tracé vert une majorité des sondés a répondu *« Non »* (2 260 répondants, soit 74,98% de l'échantillon), contre une autre minorité ayant répondu *« Oui, en association avec un ou plusieurs autres péages »* (405 répondants, soit 13,44% de l'échantillon) et une minorité ayant répondu *« Oui, comme seul et unique péage »* (349 répondants, soit 11,58% de l'échantillon),
- Pour l'acceptation du tracé bleu une majorité des sondés a répondu *« Non »* (2 362 répondants, soit 78,37% de l'échantillon), contre une minorité ayant répondu *« Oui, comme seul et unique péage »* (338 répondants, soit 11,21% de l'échantillon) et une autre minorité ayant répondu *« Oui, en association avec un ou plusieurs autres péages »* (314 répondants, soit 10,42% de l'échantillon),
- Pour l'acceptation du tracé sur les autoroutes une majorité des sondés a répondu *« Non »* (2 274 répondants, soit 75,45% de l'échantillon), contre une minorité ayant répondu *« Oui, comme seul et unique péage »* (408 répondants, soit 13,54% de l'échantillon) et une autre minorité ayant répondu *« Oui, en association avec un ou plusieurs autres péages »* (332 répondants, soit 11,02% de l'échantillon).

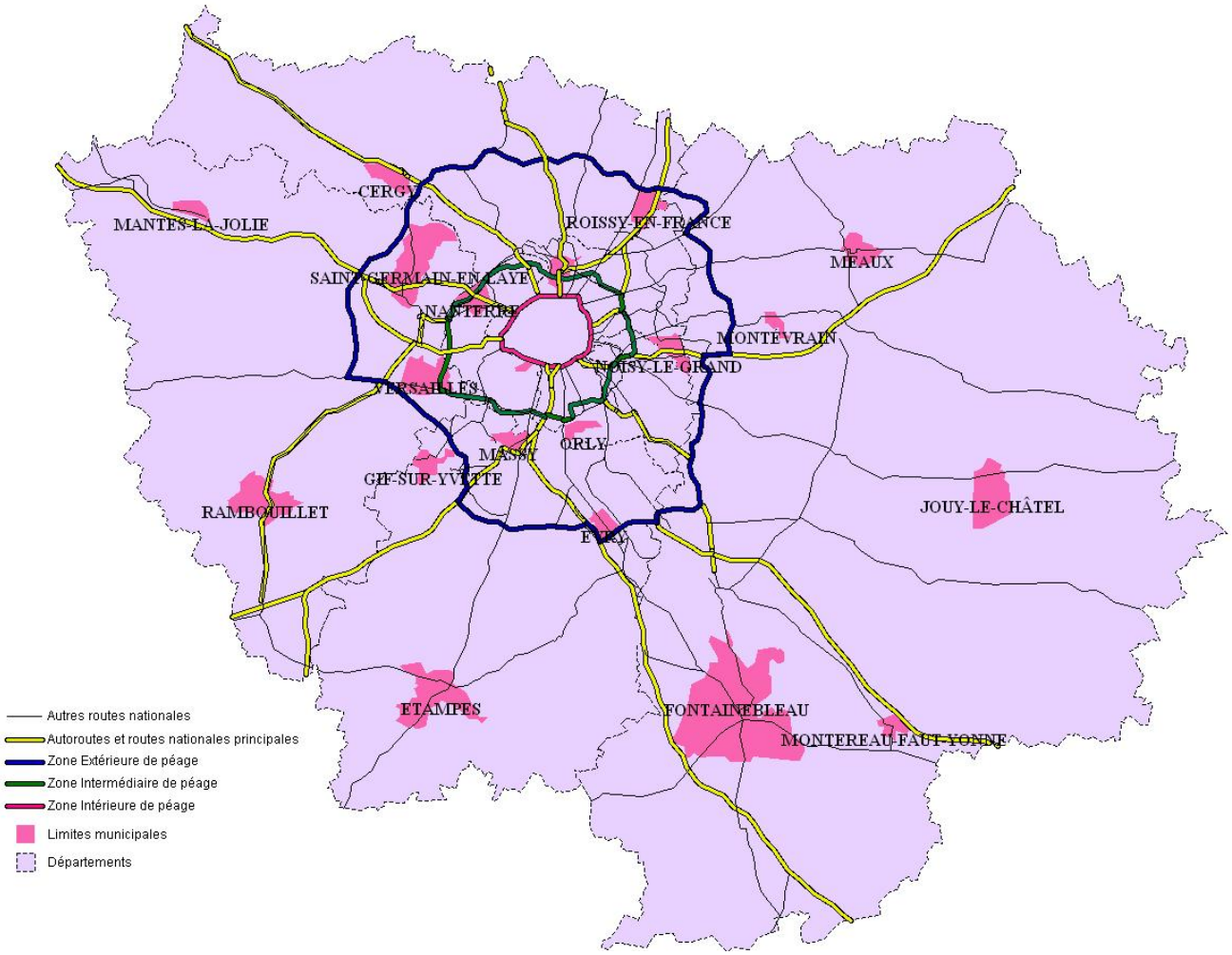

Figure 32 : Tracé des quatre scenarii de péage urbain en Île-de-France – Source : Enquête MIMETTIC, 2012

Les répondants sont donc majoritairement opposés à toute forme de tarification urbaine. Cependant, c'est le tracé du péage cordon autour de Paris qui suscite le moins d'avis défavorables (55,81%). L'opposition grandit avec la zone couverte par le péage. Cela laisse penser que la présence du lieu d'habitation (ou de travail) dans la zone sous contrainte tarifaire est un élément favorisant l'opposition à ce péage.

4. Opinion sur la tarification

Nous avons demandé aux répondants si la tarification du péage devait être fixe ou modulé (selon les bouchons, les heures de la journée, les émissions de CO^2 du véhicule). Voici les résultats :

- Tarification *« Variable selon les heures de la journée »* (1 097 répondants, soit 36,40% de l'échantillon)
- Tarification *« Fixe »* (688 répondants, soit 22,83% de l'échantillon),
- Tarification *« Variable selon les bouchons présents sur la route »* (406 répondants, soit 13,47% de l'échantillon)
- Ne se prononcent pas (823 répondants, soit 27,31% de l'échantillon).

En ce qui concerne la modulation de la tarification selon l'émission de CO2 du véhicule, les résultats sont les suivants.

- *« Oui »* (1 272 répondants, soit 42,20% de l'échantillon)
- *« Non »* (919 répondants, soit 30,49% de l'échantillon)
- Ne se prononce pas (823 répondants, soit 27,31% de l'échantillon).

Une grande part des répondants (27,31%) ne se prononcent pas quant aux modalités de tarification. En revanche, une majorité d'entre eux sont favorables à une tarification variable selon les heures de la journée, ce qui leur permettrait d'ajuster leurs horaires de déplacement, et à une tarification selon l'émission de CO2 du véhicule, reflet des préoccupations environnementales.

5. Estimation du résultat du referendum

Nous avons demandé aux sondés d'estimer quel serait le pourcentage de réponses favorables en cas de référendum sur l'instauration d'un péage urbain autours de Paris. Les résultats ont été recueillis en 4 groupes : *« moins de 25% »*, *« entre 25% et 50% »*, *« entre 50% et 75% »*, *« plus de 75% »*. Nous avons indiqué le groupe de personnes ne s'étant pas prononcé. On a donc :

- 1 887 répondants dans le groupe *« moins de 25% »* (soit 69,14% de l'échantillon des personnes s'étant exprimés),
- 525 répondants dans le groupe *« entre 25% et 50% »* (soit 19,24% de l'échantillon des personnes s'étant exprimés),
- 201 répondants dans le groupe *« entre 50% et 75% »* (soit 7,37% de l'échantillon des personnes s'étant exprimés),
- 116 répondants dans le groupe *« plus de 75% »* (soit 4,25% l'échantillon des personnes s'étant exprimés),
- 528 répondants dans le groupe *« Ne se prononce pas »* (soit 16,21% de l'échantillon total).

Selon les répondants, le péage urbain subira un très mauvais accueil lors d'un référendum, puisque 69,14% d'entre eux estiment que moins de 25% des gens y seraient favorable.

L'acceptabilité du péage en Île-de-France est loin d'être acquise. En l'état actuel des choses, un referendum donnerait certainement un refus assez net de ce type de mesure, refus expliqué par le nombre d'usagers de la voiture effrayés par la dégradation de leurs conditions de déplacement, la peur du creusement des inégalités et le scepticisme envers tout changement. Cependant, les réactions sont différentes selon les zones, selon que les résidents soient des gagnants ou des perdants de l'introduction de ce péage, des usagers réguliers des transports en commun, selon l'utilisation qui est faite des gains du péage… Une segmentation fine est nécessaire pour mieux appréhender les facteurs influençant l'acceptabilité d'un péage urbain.

VII. Conclusions et perspectives

L'étude académique des transports constitue un sujet complexe et fondamentalement interdisciplinaire. En effet, elle allie, entre autres, les sciences de l'ingénieur, l'économie, la géographie et l'informatique. Ces différentes disciplines ont été mobilisées dans le cadre du présent projet intitulé : "Tarification des Transports Individuels et Collectifs à Paris - Dynamique de l'Acceptabilité". Cette étude constitue une première, dans la mesure où elle étudie une même thématique, la tarification des transports et son acceptabilité, à travers différentes approches, s'appuyant sur des outils et méthodologies très diversifiés, et fait appel à des équipes scientifiques qui ne sont pas habituées à collaborer.

De manière schématique, nous avons commencé par aborder le sujet de notre étude dans le cadre du très long terme, c'est-à-dire dans le cadre de la localisation endogène des ménages. Ceci nous a permis de constater qu'une part importante des effets de la tarification correspond à une forte densification urbaine. Bien évidemment, appliqué au niveau de la région parisienne, cela se traduit par la nécessité de construire un grand nombre de logements en centre urbain (Paris intra muros et petite couronne). Les simulations menées dans le cadre du projet SustainCity, avec les logiciel UrbanSim et METROPOLIS) pointent vers le même type de conclusion. Cette recommandation émerge aussi des travaux préliminaires conduits dans le cadre du Grand Paris. Selon ces travaux préliminaires, entre 800 000 et un million de logements (pour tenir compte du fait que la taille des ménages tend à diminuer) devraient être construits d'ici 2035 pour accueillir les emplois créés ou (déplacés vers les CDT ou vers le centre ville - la polémique est hors propos ici). Les évolutions projetées suggèrent aussi une densification.

Si ces études pointent dans la même direction, elles abordent toutes mal la question du calendrier (sauf peut-être la dernière, dans une moindre mesure). Pourtant, une question essentielle réside dans l'harmonisation et la synchronisation des différentes politiques. Les décisions en matière de développement urbain et de transport sont complexes car elles mettent en jeu différentes échelles de temps. Ainsi, les résidents font face à des décisions de court terme, de moyen terme et de long terme. La création des infrastructures de transport, la mise en place des politiques de transport, du logement (et en particulier des politiques d'accompagnement) doivent bien évidement être menées en concertation entre les différents acteurs, afin d'éviter, par exemple, que des emplois soient créés sans logement à proximité ou bien qu'un centre universitaire soit créé sans permettre aux étudiants d'y d'accéder. Cette étude de l'harmonisation et de la coexistence de processus ayant des échelles de temps différentes pourrait faire l'objet d'un nouvel appel à proposition de la part du PREDIT.

La question de l'acceptabilité a également retenu notre attention dans la partie IV, A. Nous y avons introduit un modèle de congestion dynamique dans l'espace et pour ce modèle, nous avons étudié comment l'acceptabilité change en fonction de la localisation résidentielle. Cette question est très importante quand on connait les discussions relatives à l'aire géographique devant être retenue dans le cadre de référendums relatifs au péage pour la ville de Stockholm.

Un second niveau d'étude a été mené dans le cadre d'une modèle d'équilibre général extrêmement simplifié (partie IV, B). De tels types de modèles ont été réalisés et calés pour trois autres grandes agglomérations : Washington, Los Angeles et Londres. Avec les données parisiennes, nous sommes en mesure de justifier des taux élevés de subvention (50 à 85%). Nos paramètres d'élasticité impliquent que le report modal est induit par une baisse des prix des transports publics (dans le

modèle initial de Parry et Small (2009), jusqu'à 50% de ces usagers supplémentaires proviennent du mode automobile). Pour des taux de transfert modal en dessous de 25%, la justification pour une subvention élevée en période de pointe est fortement atténuée. Ces résultats mettent l'accent sur nécessité de relativiser nos conclusions à cet égard. Nous nous permettons de suggérer à nos financeurs d'encourager des études économétriques plus précises ayant comme objectif d'estimer les paramètres qui pourraient nous aider à préciser les résultats de ce modèle (paramètres d'élasticité directe ou croisée, paramètres d'évolution de la demande et paramètres mesurant les coûts de la congestion dans les transports publics, par exemple).

Une étude de la tarification plus désagrégée a été menée dans la section C de la partie IV. Ici nous utilisons une approche beaucoup plus désagrégée que dans les deux études précédentes. Cette désagrégation s'effectue à la fois dans l'espace -réseau de plusieurs dizaines de milliers de liens et de nœuds- et dans le temps : en effet, alors que les deux modèles précédents sont statiques, nous avons pris en compte ici un modèle dynamique, c'est à dire un modèle dans lequel la congestion varie (de manière endogène) en fonction de l'heure de la journée. Cette dimension supplémentaire permet de raffiner les instruments mis en place et aussi de rendre plus précises les informations relatives à la distribution des gains (en temps de trajet ou en accessibilité) ou des pertes (augmentation de la pollution, de la congestion locale et du coût généralisé), sous certaine hypothèses de redistribution.

La comparaison des résultats des trois modèles précédent est délicate *a priori*, et de fait la similitude des résultats obtenus est tout à fait remarquable. Par exemple, les résultats obtenus avec METROPOLIS et ceux obtenus précédemment dans la partie IV, B sont semblables. Pour le même scenario de péage, à savoir un péage cordon autour de la Petite Couronne, METROPOLIS suggère un surplus du consommateur de 105€/an alors que le modèle classique prédit un surplus de 77€/an. La différence peut s'expliquer facilement dans le sens où le modèle dynamique octroie plus de flexibilité à la fois aux usagers et aux preneurs de décision, et en ce sens, des bénéfices supérieurs sont attendus. La littérature montre très clairement la domination des modèles dynamiques. Il reste à convaincre les praticiens de ce fait. Une prochaine étude menée dans le cadre du CAS permettra de conduire une argumentation dans ce sens.

Ceci nous conduit à la dernière discussion de cette conclusion, relative à l'enquête MIMETTIC, (Mobilité Des Individus Et Des Ménages Et Tarification Des Transports Individuels Et Collectifs), menée en collaboration avec l'université de Cergy-Pontoise (partie III et partie V, B). Cette enquête, menée en ligne par TNS Sofres, nous a permis de mesurer les valeurs du temps en tenant compte des interactions au sein des couples. Elle nous a aussi permis de calculer les valeurs des paramètres de déshorage, et d'étudier leurs dépendances en fonction de la localisation et des caractéristiques socio-économiques. De manière surprenante, ces valeurs sont assez stables (à peine décroissantes) en fonction de la distance au centre ville. Cette actualisation des coûts de déshorage a aussi mis l'accent sur la nécessité de définir de manière plus précise la notion d'heure désirée d'arrivée à la destination. En effet, cette notion présentée comme exogène, apparait endogène (au moins partiellement sur le long terme) pour de nombreux répondante, et le résultat des négociations au sein du couple. Beaucoup de travail attend encore les chercheurs.

Nous avons valorisé cette proposition de recherche à travers plusieurs documents de recherche et articles, dont environ une demi-douzaine ont été acceptés pour publication dans des revues internationales avec comité de lecture.

VIII. Bibliographie

Abkowitz, M.D. «Understanding the effect of transit service reliability on work-travel behavior.» *Transportation Research Record*, n° 794 (1981): 33-41.

Abraham, C., A. Bonnafous, D. Chabanol, M. Chabert, Y. Crozet, et C. Dalmais. «Péage et financement d'infrastructures en milieu urbain-Lyon, les leçons d'un périphérique. Actes du colloque, 5-6 décembre 2000, Lyon (France).» *Post-Print* (HAL), 2000.

Abu-Eisheh, S.A., et F.L. Mannering. «Discrete/Continuous Analysis of Commuters' Route and Departure Time Choices.» *Transportation Research Board* 1138, n° 1138 (1987): 27-34.

Ahmad, E., et N. Stern. «The theory of reform and Indian indirect taxes.» *Journal of Public economics* (Elsevier) 25, n° 3 (1984): 259-298.

Anas, A., et R. Lindsey. «Reducing urban road transportation externalities: Road pricing in theory and in practice.» *Review of Environmental Economics and Policy* (Oxford University Press) 5, n° 1 (2011): 66-88.

Anderson, S.P., et R. Renault. *A Handbook of Transport Economics.* Vol. 1 & 2, chap. Price Discrimination, édité par A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet et R. Vickerman, 527-561. Edward Edgar Publishing, 2011.

Anderson, S.P., et R. Renault. «La tarification des transports: Enjeux et défis.» Chap. Tarification Discriminante, édité par A. de Palma et E. Quinet, 107-130. Economica, 2005.

Arnott, R., A. de Palma, et R. Lindsey. «A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand.» *American Economic Review* (American Economic Association) 83, n° 1 (1993): 161-79.

Arnott, R., A. de Palma, et R. Lindsey. «Economics of a bottleneck.» *Journal of Urban Economics* (Elsevier) 27, n° 1 (1990): 111-130.

Arnott, R., A. de Palma, et R. Lindsey. «Information and time-of-usage decisions in the bottleneck model with stochastic capacity and demand.» *European Economic Review* (Elsevier) 43, n° 3 (1999): 525-548.

Arnott, R., A. de Palma, et R. Lindsey. «The welfare effects of congestion tolls with heterogeneous commuters.» *Journal of Transport Economics and Policy* 28 (1994): 139-161.

Ben-Akiva, M., et M. Bierlaire. «Discrete choice methods and their application to short term travel decisions.» *International Series in Operations Research and Management Science* (Kluwer Academic Publishers), 1999: 5-34.

Berthet, M., et L. Servant. «L'acceptabilité du péage urbain. Résultats d'enquêtes - Juillet 1999. Les réactions au projet de péage urbain à Londres. Résultats des deux enquêtes d'opinion réalisées en 1992 auprès des automobilistes et des élus londoniens.» Tech. rep., IAU, 1999.

Bertrand, T.J. «Second Best Congestion Taxes in Transportation Systems.» *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 45 (1977): 1703-1715.

Boiteux, M. *La tarification des demandes en pointe: Application de la théorie de la vente au coût marginal.* Place Henri-Bergson, 1949.

Boiteux, M., et L. Baumstark. *Transports: choix des investissements et coût des nuisances.* Édité par Commissariat général du plan. La Documentation française, 2001.

Bureau, B. «Tarification de la circulation en zone urbaine : le cas du péage urbain de Londres.» Tech. rep., DRAST, 2004.

Bureau, B., et M. Glachant. «Distributional effects of road pricing: Assessment of nine scenarios for Paris.» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Elsevier) 42, n° 7 (2008): 994-1007.

Bureau, B., et M. Glachant. «Evaluation quantitative de l'impact des politiques "Quartiers Verts" et "Quartiers Tranquilles" sur les prix de l'immobilier à Paris.» Tech. rep., ADEME, 2008.

Button, K.J. *The economics of urban transport.* Saxon House (Farnborough, Hants.), 1977.

Calthrop, E., B. De Borger, et S. Proost. «Cost-benefit analysis of transport investments in distorted economies.» *Transportation Research Part B: Methodological* (Elsevier) 44, n° 7 (2010): 850-869.

Cascetta, E., A. Nuzzolo, et L. Biggiero. «Analysis and Modelling of Commuters' Departure Time and Route choice in Urban Networks.» *Sixth World Conference on Transportation Research.* 1992.

Cosslett, S. «The trip timing decision for travel to work by automobile.» Tech. rep., University of California, Berkeley, 1977.

Crozet, Y., et M. Glachant. «Le péage urbain: peut-être, mais comment?» *Infrastructures \& Mobilit\&* (HAL) 64 (2007): 8-10.

Daganzo, C.F. «Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches.» *Transportation Research Part B: Methodological* (Elsevier) 41, n° 1 (2007): 49-62.

de Borger, B., et S. Proost. «A political economy model of road pricing.» *Journal of Urban Economics* (Elsevier) 71 (2011): 79-92.

de Palma, A., et al. «Rapport final du projet QUATUOR(calage et résultats de simulations dynamiques sur des réseaux de grande taille. Année 3).» Tech. rep., DRAST/PREDIT, 2002, 377.

de Palma, A., et C. Fontan. «Departure time choice and heterogeneity of commuters.» *Selected Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research.* 2001.

de Palma, A., et C. Fontan. «Enquête MADDIF (multimotif adaptée à la dynamique des comportements de déplacement en Ile-de-France).» 1998.

de Palma, A., et D. Rochat. «Urban Congestion and Commuters' Behavior : the Departure Time Context.» *Revue d'Economie Régionale and Urbaine*, n° 3 (1996): 467-488.

de Palma, A., et E. Quinet, . *La tarification des transports: Enjeux et défis.* Economica, 2005.

de Palma, A., et F. Marchal. «Real cases applications of the fully dynamic METROPOLIS tool-box: an advocacy for large-scale mesoscopic transportation systems.» *Networks and Spatial Economics* (Springer) 2, n° 4 (2002): 347-369.

de Palma, A., et M. Fosgerau. «A Handbook of Transport Economics.» Chap. Dynamic Traffic Modeling, édité par A. de Palma, R. Lindsey, E. Quinet et R. Vickerman, 188-212. Edward Elgar, 2011.

de Palma, A., et M. Fosgerau. «Random queues and risk averse users.» MPRA Paper, University Library of Munich, Germany, 2010.

de Palma, A., et N. Picard. «Route choice decision under travel time uncertainty.» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Elsevier) 39, n° 4 (2005): 295-324.

de Palma, A., et R. Lindsey. «Modelling and evaluation of road pricing in Paris.» *Transport Policy* (Elsevier) 13, n° 2 (2006): 115-126.

de Palma, A., et R. Lindsey. «Traffic congestion pricing methodologies and technologies.» *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 19, n° 6 (2011): 1377-1399.

de Palma, A., et S. Munshi. «Multi-Player, Multi-Prize, Imperfectly Discriminating Contests.» unpublished, 2012.

de Palma, A., F. Marchal, et Y. Nesterov. «METROPOLIS: Modular system for dynamic traffic simulation.» *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (Trans Res Board) 1607, n° -1 (1997): 178-184.

de Palma, A., M. Kilani, et S. Proost. «The location and pricing of mass transit stations.» *Document de Recherche*, 2010: 26.

de Palma, A., M. Kilani, M. Lara, et S. Piperno. «Congestion pricing and long term urban form: Application to Paris Region.» unpublished, 2012.

de Palma, A., M. Kilani, M.D. Lara, et S. Piperno. «Cordon pricing in the monocentric city: theory and application to Paris region.» *Recherches Economiques de Louvain* (De Boeck Université) 77, n° 2 (2011): 105-124.

de Palma, A., R. Lindsey, E. Quinet, et R. Vickerman, . *A Handbook of Transport Economics.* Vol. 1 & 2. Edward Edgar Publishing, 2011.

de Palma, A., R. Lindsey, et S. Proost, . *Investment and the use of tax and toll revenues in the transport sector.* Elsevier, 2007.

de Palma, A., S. Proost, et S. van der Loo. «Assessing transport investments-Towards a multi-purpose tool.» *Transportation Research Part B: Methodological* (Elsevier) 44, n° 7 (2010): 834-849.

Delons, J. «La tarification des transports: Enjeux et défis.» Chap. Quelques vertus peu connues de la tarification urbaine, édité par A. de Palma et E. Quinet, 265-284. Economica, 2004.

Derycke, P. *Le péage urbain. Histoire - Analyses - Politiques.* Economica, 1997.

DREIF. «Enquête Globale Transport.» Tech. rep., Division des infrastructures et des transports, 2001.

Duprez, F., P. Coester, Y. Crozet, J. Darne, D. Baupin, et J.M. Guidez. «Mobilité et péages urbains : Singapour, Londres et après ?» 2003.

Dupuit, J. «De la mesure de l'utilité des travaux publics (1844).» *Revue française d'économie* (Revue Française d'Economie) 10, n° 2 (1995): 55-94.

Dupuit, J. «On tolls and transport charges.» *International Economic Papers* 11, n° 11 (1844/1962): 7-31.

Eliasson, J. «A cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system.» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Elsevier) 43, n° 4 (2009): 468-480.

Eliasson, J., L. Hultkrantz, L. Nerhagen, et L.S. Rosqvist. «The Stockholm congestion-charging trial 2006: Overview of effects.» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Elsevier) 43, n° 3 (2009): 240-250.

Engelson, L., I. Kristoffersson, A. de Palma, K. Motamedi, et M. Saifuzzaman. «Comparison of two dynamic transportation models: The case of Stockholm congestion charging.» *Proceedings of the 4 th TRB conference on Innovations in Travel Modeling.* 2012.

European Conference of Ministers of Transport. «La réforme des taxes et des redevances dans les transports.» 2004.

Fernandez, R., et D. Rodrik. «Resistance to reform: Status quo bias in the presence of individual-specific uncertainty.» *The American economic review* 81 (1991): 1146-1155.

Fosgerau, M. «How a fast lane may replace a congestion toll.» *Transportation Research Part B: Methodological* (Elsevier) 45 (2011): 845-851.

Fosgerau, M., et A. de Palma. «Congestion in a city with a central bottleneck.» *Journal of Urban Economics* (Elsevier) 71 (2011): 269-277.

Geroliminis, N., et C.F. Daganzo. «Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings.» *Transportation Research Part B: Methodological* (Elsevier) 42, n° 9 (2008): 759-770.

Geroliminis, N., et D.M. Levinson. «Cordon pricing consistent with the physics of overcrowding.» *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee* (Springer), 2009: 219-240.

Glachant, M., et B. Bureau. «Economie des effets distributifs de la tarification de circulation en zone urbaine.» Tech. rep., Mission Interministérielle de l'effet de serre, 2004.

Glachant, M., et B. Bureau. «Un péage urbain à Paris? Une évaluation des effets distributifs de quatre scénarios.» *Recherche, transports, sécurité* (Lavoisier) 93, n° 93 (2006): 263-278.

Gomez-Ibanez, J.A., et K.A. Small. *Road pricing for congestion management: A survey of international practice.* Vol. 210, 83. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice No. 210, National Academy Press (Washington, D.C.), 1994.

Gravel, N., C. Hagneré, et N. Picard. «Une estimation des conséquences d'une réforme des minima sociaux sur l'offre de travail à l'aide d'un modèle intertemporel de micro-simulation.» *Economie publique/Public economics* (Institut d'économie publique (IDEP)) 14 (2005): 3-44.

Gravel, N., C. Hagneré, N. Picard, et A. Trannoy. «Une évaluation de l'impact incitatif et redistributif d'une réforme des minima sociaux.» *Revue française d'économie* (Revue Française d'Economie) 16, n° 1 (2001): 125-167.

Guesnerie, R. «On the direction of tax reform.» *Journal of Public Economics* (Elsevier) 7, n° 2 (1977): 179-202.

Hendrickson, C., et E. Plank. «The flexibility of departure times for work trips.» *Transportation Research Part A: General* (Elsevier) 18, n° 1 (1984): 25-36.

Hendrickson, C., et G. Kocur. «Schedule delay and departure time decisions in a deterministic model.» *Transportation Science* 15, n° 1 (1981): 62-77.

Ieromonachou, P., S. Potter, et J.P. Warren. «Norway's urban toll rings: Evolving towards congestion charging?» *Transport Policy* (Elsevier) 13, n° 5 (2006): 367-378.

Jain, S., et S.W. Mukand. «Redistributive promises and the adoption of economic reform.» *The American Economic Review* 93, n° 1 (2003): 256-264.

Koning, M. «Essais sur la congestion dans les transports à Paris.» Ph.D. dissertation, Droit-Economie-Gestion, Université de Paris I, 2011.

Kraus, M. «Discomfort externalities and marginal cost transit fares.» *Journal of Urban Economics* 29 (1991): 249-259.

Kuwahara, M. «Equilibrium queueing patterns at a two-tandem bottleneck during the morning peak.» *Transportation Science* 24, n° 3 (1990): 217-229.

Kydland, F.E., et E.C. Prescott. «Rules rather than discretion: The inconsistency of optimal plans.» *The Journal of Political Economy* 85 (1977): 473-491.

Lévy-Lambert, H. «Tarification des Services à Qualité Variable - Application aux Péages de Circulation.» *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 36, n° 3/4 (1968): 564-574.

L'Hour, J. «Estimating the value of travel time in the space of willingness-to-pay.» Master's thesis, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2012.

Lian, J.I. «The Oslo and Bergen toll rings and road-building investment-Effect on traffic development and congestion.» *Journal of Transport Geography* (Elsevier) 16, n° 3 (2008): 174-181.

Lindsey, R. «Do Economists Reach a Conclusion?» *Econ Journal Watch* 3, n° 2 (2006): 292-379.

Mackie, P. «The London congestion charge: A tentative economic appraisal. A comment on the paper by Prud'homme and Bocajero.» *Transport Policy* 12, n° 3 (2005): 288-290.

Mahamassani, H. S., et G. L. Chang. «Specification and Estimation of a Dynamic Departure Time Acceptability Model in Urban Commuting.» *1986 annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.* Transpo, 1986. 64.

Mannering, F.L. «Poisson analysis of commuter flexibility in changing routes and departure times.» *Transportation Research Part B: Methodological* (Elsevier) 23, n° 1 (1989): 53-60.

Marchand, M. «A note on optimal tolls in an imperfect environment.» *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 36, n° 3/4 (1968): 575-581.

Marin, E. «Demand forecast, congestion charge and economic benefit of an automated highway network for the Paris agglomeration.» *Transport Policy* (Elsevier) 10, n° 2 (2003): 107-120.

Mayeres, I., et S. Proost. «Marginal tax reform, externalities and income distribution.» *Journal of Public Economics* (Elsevier) 79, n° 2 (2001): 343-363.

Mirrlees, J.A. «The optimum town.» *The Swedish Journal of Economics* 74, n° 1 (1972): 114-135.

Mohring, H. «Optimization and scale economies in urban bus transportation.» *The American Economic Review* 62, n° 4 (1972): 591-604.

Newell, G.F. «The morning commute for nonidentical travelers.» *Transportation Science* 21, n° 2 (1987): 74-88.

Noland, R.B., et K.A. Small. «Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of the morning commute.» Édité par California. Dept. of Transportation et Irvine. University of California. *Transportation Research Record* (Transportation Research Board), n° 1493 (1995): 150-158.

Nuzzolo, A., et F. Russo. «Travel Behavior Research: Updating The State of Play.» Chap. Departure Time and Path Choice Models for Intercity Transit Assignment, édité par J. Ortuzr, D. Hensher et S. Jara-Diaz, 385-399. Elsevier, 1998.

Parry, I.W.H., et K.A. Small. «Should urban transit subsidies be reduced?» *The American Economic Review* (American Economic Association) 99, n° 3 (2009): 700-724.

Philip, C., et N. Gauthier. «Le financement des deplacements urbains.» Tech. rep., La documentation française, 2003.

Pigou, A.C. *The economics of welfare.* Édité par Macmillan et Co. Vol. 4. London: Transaction Publishers, 1952.

Poiblanc, B. «Les outils de régulation de la congestion en zone urbaine.» Tech. rep., Direction de la Prévision, Ministère de l'Economie, Paris, 2004.

Pons, D., C. Raux, et S. Souche. «Trois expériences de péage urbain en Europe : évaluation et bilan socioéconomique.» Tech. rep., PREDIT, 2009.

Proost, S., et K.V. Dender. «Optimal urban transport pricing in the presence of congestion, economies of density and costly public funds.» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Elsevier) 42, n° 9 (2008): 1220-1230.

Prud'homme, R., et J.P. Bocarejo. «Le péage de Congestion dans le Centre de Londres: Un essai d'évaluation.» Tech. rep., DRAST/PREDIT, 2005.

Quddus, M.A., M.G.H. Bell, J.D. Schmöcker, et A. Fonzone. «The impact of the congestion charge on the retail business in London: An econometric analysis.» *Transport Policy* (Elsevier) 14, n° 5 (2007): 433-444.

Raux, C. *Le péage urbain.* Édité par PREDIT. La documentation française, 2007.

Raux, C., et S. Souche. «The acceptability of urban road pricing: a theoretical analysis applied to experience in Lyon.» *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)* (Journal of Transport Economics and Policy) 38, n° 2 (2004): 191-215.

Roland, G. *Transition and Economics: Politics, Markets, and Firms.* Édité par The MIT Press. Vol. 1. MIT Press Books, 2000.

Saifuzzaman, M., A. de Palma, et K. Motamedi. «Calibration of METROPOLIS for Ile-de-France.» unpublished, 2012.

Santos, G., et G. Fraser. «Road pricing: lessons from London.» *Economic Policy* (Wiley Online Library) 21, n° 46 (2006): 263-310.

Santos, G., K. Button, et R.G. Noll. «London congestion charging.» *Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs*, 2008: 177-234.

Schade, J., et B. Schlag, . *Acceptability of transport pricing strategies.* Elsevier, 2003.

Schade, J., et M. Baum. «Reactance or acceptance? Reactions towards the introduction of road pricing.» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Elsevier) 41, n° 1 (2007): 41-48.

Servant, L. «Le péage urbain de Stockholm : bilan de l'expérimentation.» Tech. rep., IAURIF, 2008.

Small, K.A. «The scheduling of consumer activities: work trips.» *The American Economic Review* 72, n° 3 (1982): 467-479.

Small, K.A., et ET Verhoef. *The economics of urban transportation.* Édité par Routledge. Psychology Press, 2007.

Smith, M.J. «The existence of a time-dependent equilibrium distribution of arrivals at a single bottleneck.» *Transportation science* 18, n° 4 (1984): 385-394.

SOFRES. «Le Parc Automobile 2001 - Module Ménage. Notes de synthèse rédigées pour l'INRETS.» Tech. rep., 2002.

STIF. «Les transports en commun en chiffres en Île de France.» Tech. rep., 2008.

Tian, Q., H.J. Huang, et H. Yang. «Equilibrium properties of the morning peak-period commuting in a many-to-one mass transit system.» *Transportation Research Part B: Methodological* (Elsevier) 41, n° 6 (2007): 616-631.

Truong, T.P., et D.A. Hensher. «Measurement of Travel Time Values and Opportunity Cost from a Discrete-Choice Model.» *Economic Journal* (Royal Economic Society) 95, n° 378 (1985): 438-51.

Vickrey, W.S. «Congestion theory and transport investment.» *The American Economic Review* 59, n° 2 (1969): 251-260.

Wang, J.J. «Timing utility of daily activities and its impact on travel.» *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (Elsevier) 30, n° 3 (1996): 189-206.

IX. Annexes

Volume 1 : Contributions théoriques

A. Méthodes et Technologies de Tarification de la Congestion Routière

B. Congestion dans une Ville avec un Goulet d'Etranglement Central

C. Localisation et Tarification des Stations de Transport en Commun

D. Réduire les Externalités du Transport Routier Urbain : Tarification Routière en Théorie et en Pratique

E. Comment un Couloir à Grande Vitesse peut-il remplacer un Péage de Congestion ?

F. Un modèle d'Economie Politique de Tarification Routière

G. Tarification de Cordon dans une Ville Monocentrique : Théorie et Application à la Région de Paris

H. Tarification de Congestion et Forme Urbaine de Long Terme : Application à la Région de Paris/Île-de-France

I. Compétitions Multi-joueurs, Multi-gains et discrimination imparfaite

Volume 2 : MIMETTIC et éléments d'estimation des modèles urbains

A. Les questionnaires de l'enquête

B. Le dictionnaire de l'enquête

C. Tarification des transports individuels et collectifs à Paris

Table des Figures

Figure 1 : Organisation des tâches du projet 17
Figure 2 : Vote des ménages pour un péage à deux cordons en fonction de la distance au centre (source : de Palma et al., 2011) 33
Figure 3 : Impact de la tarification de la congestion – densités des ménages en fonction de la distance au centre (source : de Palma et al., 2012) 35
Figure 4 : Variation du niveau d'effort en fonction du nombre de passager (source : de Palma et Munshi, 2012) 36
Figure 5 : Histogramme de l'âge des référents 49
Figure 6 : Histogramme de l'âge des conjoints 49
Figure 7 : Fonction de répartition de la valeur du temps des usagers TC 55
Figure 8 : Fonction de répartition de la valeur du temps des usagers VP 55
Figure 9 : Scenario 1 de l'enquête MIMMETTIC – Etude de la valeur du temps 57
Figure 10 : Modèles désagrégés simplifiés 76
Figure 11 : Territoire et modes de transport 77
Figure 12 : Le réseau et la notation utilisée pour les liens 80
Figure 13 : Elasticités prix des individus les plus pauvres qui travaillent et font des trajets P-P 81
Figure 14 : Impact de la tarification (1 €) par groupe géographique tenant compte du coût d'opération pendant l'heure de pointe. 88
Figure 15 : : Impact sur le bien-être d'une augmentation marginale de la tarification dans le transport public 89
Figure 16 : Impact sur le bien-être d'une augmentation marginale de la tarification dans le transport public, tenant compte du coût d'opération supplémentaire pendant l'heure de pointe pour les passagers additionnels 90
Figure 17 : Effets sur les flux de transports d'un péage de zone de 5 € à Paris 92
Figure 18 : Variations en % des flux de transport les plus affectés par un péage de zone en Petite Couronne de 5€ 95
Figure 19 : Variations en % des flux de transport les plus affectés par un péage de cordon de 5€ à Paris 96
Figure 20 : Variations en % des flux de transport les plus affectés par un péage de cordon de 5€ en Petite Couronne 96
Figure 21 : Impact d'une tarification de zone (petite couronne) de 5€ (colonnes vertes), et impact de cette tarification accompagnée d' une réduction des tarifs de 10% dans les transports collectifs (colonnes jaunes) tenant compte du coût d'opération des transports en un pendant l'heure de pointe, sur les niveaux de bien-être par groupe selon l'origine et la destination. 97
Figure 22 : Impact d'une tarification de zone (petite couronne) de 3€ (colonnes vertes), et impact de cette tarification accompagnée d'une réduction des tarifs de 10% dans les transports collectifs (colonnes jaunes) tenant compte du coût d'opération des transports en un pendant l'heure de pointe, sur les niveaux de bien-être par groupe selon l'origine et la destination. 98
Figure 23 : Impact d'une tarification de zone (petite couronne) de 3€ (colonnes vertes), et impact de cette tarification accompagnée d'une augmentation des tarifs de 10% dans les transports collectifs (colonnes jaunes) tenant compte du coût d'opération des transports en commun pendant l'heure de pointe, sur les niveaux de bien-être par groupe selon l'origine et la destination. 98
Figure 24: Distribution de l'heure d'arrivée des déplacements ayant pour motif le "Travail" vers Paris et Petite Couronne 103

Figure 25 : Distribution de l'heure d'arrivée des déplacements ayant pour motif le "Travail" vers Grande Couronne 104
Figure 26 : Distribution de l'heure d'arrivée des déplacements "Autres motifs" 104
Figure 27 : Isochrones du centre de Paris (Chatelet) vers chacune des zones pendant la période du matin (6-10h) en situation de base 108
Figure 28 : Carte des projets de tarification proposés dans le modèle METROPOLIS 109
Figure 29 : Isochrones du centre de Paris (Chatelet) vers chacune des zones pendant la période du matin (6-10h) avec introduction de deux péages cordon 112
Figure 30 : Changement dans le choix du mode en raison de l'introduction de deux péages cordon121
Figure 31 : Tracé des quatre scenarii de péage urbain en Île-de-France – Source : Enquête MIMETTIC, 2012 124

Table des Tableaux

Tableau 1 : Taille des ménages 50
Tableau 2 : Activité Professionnelle 50
Tableau 3 : Catégories Socioprofessionnelles (Classification INSEE) 50
Tableau 4 : Revenu annuel net en 2010 51
Tableau 5 : Revenu mensuel net en 2010 51
Tableau 6 : Département de résidence 52
Tableau 7 : Nombre de voitures disponibles par ménage et par département de résidence 52
Tableau 8 : Nombre de motos disponibles par ménage et par département de résidence 52
Tableau 9 : Nombre de vélos disponibles par ménage 53
Tableau 10 : Motif du trajet sélectionné par le panéliste 53
Tableau 11 : Principal moyen de transport utilisé par le panéliste 54
Tableau 12 : Nombre de moyens de transport utilisés par le panéliste lors de son déplacement de référence 54
Tableau 13 : Valeur du temps estimée dans les transports individuels 58
Tableau 14 : Valeur du temps estimée dans les transports en commun 59
Tableau 15 : Répartition des valeurs du temps et des coûts de déshorage 60
Tableau 16 : Valeurs du temps estimées (E(x) =espérance de x) 60
Tableau 17 : Données de base pour le transport à Paris et à Londres 69
Tableau 18 : Subvention optimale pour les transports publics à Paris et à Londres 70
Tableau 19 : Rôle du report modal dans la subvention optimale 72
Tableau 20 : Zones d'Origine et Destination considérées 77
Tableau 21 : Combinaisons de mode considérées pour les déplacements 79
Tableau 22 : Les quatre classes professionnelles 80
Tableau 23: Flux de transport 82
Tableau 24 : Part des déplacements effectués (exclusivement) en voiture 83
Tableau 25 : Temps de trajet (minutes) 83
Tableau 26 : Coûts généralisés (€) 84
Tableau 27 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers (€/individu/an). Absence de redistribution des revenus du péage 86
Tableau 28 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers (€/individu/an). Redistribution de 20% des revenus du péage 86
Tableau 29 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers. (€/individu/an). Redistribution de 50% des revenus du péage 86
Tableau 30 : Péage unitaire et gain de bien-être des usagers. (€/individu/an). Redistribution de 100% des recettes de péage 87
Tableau 31: taux de variation de l'utilité (en euro/an/ind) 93
Tableau 32 : taux de variation de l'utilité (en euro/an/ind) 93
Tableau 33: Tableau récapitulatif des aspects qualitatifs 100
Tableau 34 : Les différents projets de tarification envisagés en Île-de-France 101
Tableau 35 : Paramètres de comportement selon la destination et le motif – source : Rapport Final du projet QUATUOR (de Palma et al., 2002) 103
Tableau 36 : Tableau synthétique des estimations 104
Tableau 37 : Bases de données utilisées pour modéliser et calibrer le modèle 105
Tableau 38 : Résultats Moyens et Agrégés 107

Tableau 39 : Externalités liées au transport par Voiture Personnelle..... 107
Tableau 40: Résultats agrégés de l'introduction d'un péage cordon autour de Paris 110
Tableau 41 : Résultats agrégés de l'introduction d'un péage cordon autour de la Petite Couronne . 111
Tableau 42 : Coûts externes et Revenu du péage Cordon autour de Paris..... 113
Tableau 43 : Principaux résultats statistiques des différents projets de tarification..... 114
Tableau 44: Opinions sur les effets des péages - Source : Enquête MIMMETIC, 2012..... 122