

Bilans socio-économiques des infrastructures de transport: pertinence des méthodes d'évaluation en Île-de-France

André de Palma
Oscar Sánchez

En matière de construction d'infrastructures de transport, le choix d'investissement a toujours constitué un sujet d'intérêt majeur pour les acteurs politiques et sociaux. Compte tenu de la nature de l'impact (dans l'espace et dans le temps) d'une modification de l'offre de transports et face à un environnement doté de ressources de plus en plus rares, les instances de décision doivent retenir les projets qui satisfont au mieux l'ensemble des critères d'évaluation choisis. Néanmoins, cette étape de sélection ne représente qu'un élément de la chaîne d'évaluation. En France, l'article 14 de la loi d'orientation des transports intérieurs (LOTI) a instauré l'évaluation socio-économique a posteriori des infrastructures de transports construites avec des ressources publiques. Deux ouvrages édités par le Commissariat Général du Plan (voir [6] et [7]) apportent des éléments permettant d'homogénéiser et de rationaliser les méthodes d'évaluation des projets de transport en milieu urbain et interurbain. La complexité, au sens large du terme, propre aux projets en zone urbaine a mobilisé diverses entités officielles afin d'adapter à ce contexte les méthodologies d'évaluation propres à l'interurbain. Les travaux réalisés à l'initiative des Ministères des Finances [17] et des Transports [18] en constituent deux exemples. Actuellement, ces réflexions se poursuivent dans divers cadres.

Pertinence des méthodes d'évaluation

En Île-de-France, les actions d'évaluation - décision relatives à des projets de transport paraissent présenter des divergences notables. En effet, d'une part les instruments d'évaluation socio-économique, tels que les taux de rentabilité immédiate (TRI)⁽¹⁾, semblent, pour des projets de taille comparable, présenter un écart

important pour les transports en commun (TC) et les transports routiers (TR). Malgré des valeurs du TRI affichées bien supérieures pour ces derniers, des infrastructures de TC ont été aussi mises en service. A cet égard, on constate que la logique de choix des investissements, basée sur le critère de rentabilité, ne semble pas avoir un poids déterminant dans le processus de décision. Différentes raisons pourraient expliquer ce constat: (a) les critères pertinents pour le choix d'investissements dépassent le cadre de l'analyse économique (décision politique); (b) les outils utilisés actuellement pour l'évaluation économique ne sont pas assez fiables (obsolescence méthodologique); (c) inexistence d'un cadre unifié de référence et d'indicateurs quantitatifs comparables.

Cet article aborde la relation évaluation - décision à partir des supposés (b) et (c) tout en essayant d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes:

Quels sont les éléments (méthodologiques ou technologiques) expliquant les divergences constatées? Quelle est la pertinence des outils utilisés en amont de l'évaluation socio-économique? Dans quels cadres les projets TC et TR peuvent-ils être comparés?

La pratique actuelle d'évaluation et l'approche agrégée

Rappelons d'abord que la méthodologie utilisée couramment dans l'évaluation des projets de transport consiste à monétariser (à partir d'une situation de référence) les effets occasionnés par leur mise en service. Les avantages normalement pris en compte dans une analyse de ce type incluent le gain du temps pour les usagers, les gains de décongestion, la réduction des nuisances, et les économies de restructuration du réseau de transports. En amont de cette évaluation, les modèles de prévi-

méthodes

1) Le taux de rentabilité est défini pour la première année de mise en exploitation d'une infrastructure comme le rapport entre les avantages pour la collectivité en montant total de l'investissement.

méthodes

2) Choix de la destination, de l'heure de départ, de l'itinéraire et du mode de déplacement.

3) Pour une description plus détaillée des approches agrégées et désagrégées, voir par exemple [19] ou [20]

4) Pour des raisons qui seront explicitées plus loin dans le texte, ces réflexions sont plutôt orientées vers les TR.

5) Dits aussi modèles géographiques de prévision de la demande ou encore modèles à quatre étapes.

sion de la demande de déplacements ont pour but de quantifier ces effets en essayant de reproduire les conditions de circulation à partir des comportements de mobilité(2) (demande de déplacements) et de la capacité des infrastructures (offre de transports).

La plupart des modèles de prévision de la demande actuellement opérationnels en Île-de-France traite les flux d'émission et de destination d'usagers de manière agrégée(3). Ces modèles traitent le trafic journalier à l'aide de la notion de trafic équivalent en "heure de pointe". D'autres hypothèses sous-jacentes à une telle approche nous paraissent discutables: (1) la population analysée est considérée homogène (i.e. valeurs de temps identiques), (2) les conditions de circulation restent constantes pendant les heures de pointe et les heures creuses, (3) le choix de temps d'utilisation de l'infrastructure n'est pas modélisé et (4) les implications de long terme ne sont pas prises en compte (par exemple: changements de destinations, délocalisations, modifications de l'usage du sol).

Propositions ponctuelles pour l'amélioration de la modélisation de la demande(4)

Nous discutons ci-dessous quelques recommandations, limitées au contexte de la région parisienne, visant à l'amélioration de la modélisation de la prévision de la demande. Nous reportons les lecteurs intéressés par la certification des modèles de transport à [16], pour la comparaison des approches statiques et dynamiques dans un cadre simplifié à [3] et à [21] pour une synthèse des outils de simulation de trafic en milieu urbain.

Approche désagrégée

Comme il a été cité précédemment, l'évaluation de projets en Île-de-France est couramment fondée sur des modèles de type agrégé. Une telle approche introduit des simplifications importantes: (1) Le niveau de la demande dans un système de transport varie au cours de l'heure de la journée, (2) les externalités engendrées dans un système de transport restent très difficiles à évaluer sans un modèle général incluant l'ensemble du réseau et des déplacements et (3) les usagers prennent leurs décisions de mobilité face à des conditions endogènes de trafic qui doivent être calculées avec le même modèle produisant les résul-

tats de l'analyse socio-économique (contrairement à la pratique actuelle).

La pratique d'évaluation gagnerait en adoptant une approche désagrégée aussi bien dans le temps que dans l'espace.

Désagrégation dans le temps: les besoins de mobilité sont étroitement liés aux activités propres au cycle de vie journalier et saisonnier. De ce fait, les conditions de circulation dans un réseau de transport fluctuent dans le temps: l'heure de la journée, le jour de la semaine, et la saison de l'année. En raison de la capacité limitée des infrastructures routières, les conditions de circulation au sein de ce réseau dépendent du niveau de la demande. La désagrégation dans le temps consiste à représenter le plus fidèlement possible l'évolution de la relation offre - demande au cours du temps et à estimer la variation du niveau de service (en termes de temps de trajet). La précision des valeurs obtenues lors des études de rentabilité attendues par les infrastructures dépend directement de la finesse de cette analyse.

Désagrégation dans l'espace: la dimension spatiale, dans un modèle agrégé de prévision de la demande classique(5) (génération, distribution, choix modal et affectation) est traitée de la manière suivante: la génération et la distribution se déterminent en considérant des zones émettrices (origines, notées O) et réceptrices de déplacements (destinations, notées D) représentées sous forme de matrice O/D. Le flux potentiel du trafic pour chaque O/D est ensuite réparti, d'après les habitudes constatées de choix modal, entre les modes de déplacement disponibles et finalement affecté vers l'itinéraire le plus convenable en se basant sur des critères (temps minimal, coût minimal, etc.) définis à l'avance par le modélisateur.

La validité de cette approche dépend de son pouvoir prédictif, qui reste trop peu documenté dans la littérature.

Il n'existe pas, actuellement, de méthodes d'estimation automatique, qui permettraient de juger plus aisément les performances des outils utilisés.

Interaction TC-TR

La mise en service d'une nouvelle infrastructure induit les utilisateurs (actuels et potentiels) à modifier leurs habitudes de mobilité afin de profiter des "bénéfices" offerts. Ce processus d'adaptation contribue à modifier la demande de déplacements avec des conséquences diverses. Par exemple, une amélioration de l'infra-

structure des TC se traduirait par un transfert modal des TR vers les TC, ce qui conduirait, ceteris paribus, à une diminution des coûts pour les TR. Cet effet indirect devrait être comptabilisé comme des "bénéfices" générés par les TC. Cependant, l'interaction TC - TR est fréquemment ignorée ou prise partiellement en compte.

Analyse de sensibilité

Notons enfin la nécessité d'évaluer par des études de sensibilité les valeurs TRI qui sont par essence entachées d'erreur. L'objectif de cette analyse - qui se traduit par une étude de scénarii - est double: d'une part, elle permet d'estimer l'importance relative des hypothèses adoptées sur les résultats obtenus; et d'autre part, elle apporte des éléments d'information relatifs à la pertinence de la mise en service d'une infrastructure lorsque les conditions de circulation n'évoluent pas de la manière prévue. Dans le cadre d'un bilan coût - bénéfice, les éléments suivants sont concernés:

la monétarisation des valeurs non marchandes prises en compte (par exemple les coûts relatifs aux nuisances et à la protection de l'environnement, la valeur de la vie humaine);

la valeur du temps retenue (voir par exemple [5] et [14]);

les hypothèses relatives à la croissance du trafic (fonction de la croissance annuelle de la population, des élasticités de la demande⁶, du niveau de l'offre de transport, etc.).

Ce type d'analyse est peu pratiqué pour les réseaux de transport de taille moyenne (quelque centaine de centroïdes et de liens) et de grande taille. Une raison technique résulte du fait que les temps de calcul ou simulation augmentent de manière exponentielle avec la taille du réseau et deviennent par conséquent rapidement prohibitifs.

Application des propositions: évaluation des projets TC et TR

Nous avons été amenés à tester les propositions mentionnées ci-dessus, dans le cadre d'une étude comparative (TC et TR) en Île-de-France - voir [12]-. Nos résultats montrent d'une part que la disparité des TRI pour ces deux modes de transports est loin d'être évidente, et d'autre part que les fourchettes pour les évaluations de ces taux appellent à plus de prudence dans les recommandations [13].

Éléments préliminaires de comparaison

Délimitation de la zone d'étude: la mesure des effets propres à la mise en service des infrastructures TC et TR a été restreinte à un niveau local afin de garder un critère de compatibilité dans nos estimations. Autrement dit, nous n'avons considéré que l'impact des infrastructures mises en services à quelques dizaines de kilomètres autour de leur tracé. La définition des frontières du système étudié reste toujours quelque peu arbitraire.

Reconstitution des conditions de circulation: dans le cas des TC, le trafic sur le réseau étudié a été estimé avec un modèle logit binomial⁷. Celui-ci a été calé sur la base d'enquêtes de trafic conduites par la RATP. En ce qui concerne le réseau TR, le volume de trafic sur chaque route a été estimé par la technique des taux de croissance moyens annuels (TCMA). Ces derniers ont été calculés à partir des relevés de comptages du trafic.

Approche désagrégée

Désagrégation dans l'espace: les volumes de trafic pour les TC ont été estimés pour chaque section du tracé (délimité par les stations) et correspondent aux volumes mesurés par des enquêtes ex post. Les conditions de circulation (taux d'occupation et temps de trajet) sur le réseau TR ont été calculées route par route en respectant les volumes de trafic obtenus lors des comptages.

Désagrégation dans le temps: pour tenir compte de la variation du volume de trafic dans le temps (pour les TR), des "courbes type" de distribution du volume de trafic (courbes de charge) ont été construites. D'après les comptages sur le réseau de voies rapides et des constats de mobilité dans la zone d'étude des courbes de charge type ont été estimées en fonction: (a) de l'heure de la journée (par classes d'une heure), et (b) du jour de la semaine. Le volume de trafic par route a été ensuite converti en temps de déplacement en utilisant les lois de congestion utilisées dans le modèle d'affectation DAVIS.

Interaction TC-TR

Le partage modal, dans le cas des TC, a été estimé à l'aide d'un modèle logit binaire; la consistance externe des calculs a été vérifiée avec les résultats du volume de transfert modal estimés par des enquêtes

méthodes

⁶ Voir à ce sujet [15].

⁷ Pour une description de ces modèles, voir par exemple [4].

méthodes

RATP. Dans le cas des TR, le volume de trafic induit par la mise en service de la nouvelle infrastructure a été déterminé route par route, à partir du différentiel "trafic prévu" (résultats des estimations) et "trafic observé" (données de comptages).

Analyse de sensibilité

Dans le cas des TR, des tests de sensibilité ont été conduits dans les cinq directions suivantes: (a) taux de croissance moyen annuel, (b) volume de trafic induit, (c) nombre d'heures de pointe par jour, (d) paramètres du modèle de congestion et (e) effets environnementaux (valeurs non marchandes). Dans le cas des TC, cinq séries de tests ont été aussi réalisées: (a) taux d'occupation du réseau routier, (b) paramètres du modèle de congestion, (c) coefficient de pénibilité, (d) nombre d'heures de pointe effectives par jour et (e) valeur du temps. Les valeurs paramétriques testées permettent de combiner plusieurs cas de figure. Ceux-ci ont été regroupés en trois scénarii: "TRI élevé", "TRI le plus probable" et "TRI bas".

Résultats

L'instrument d'évaluation socio-économique qui a été considéré est le TRI. Les postes inclus dans le bilan coûts - avantages ont été: (1) pour les coûts: les coûts de construction; et (2) pour les avantages: le gain de temps, la réduction du coût d'entretien et de fonctionnement, et les gains dus à la réduction des nuisances (bruit, émission de polluants). Des TRI ont été obtenus pour les divers scénarii décrits dans la section précédente. Environ 80 cas de figure ont été simulés pour le projet TC et 160 pour le projet TR. Les résultats montrent (a) un écart assez important entre le TRI le plus élevé et le TRI le plus bas pour le cas du projet TR (de l'ordre de 100 points) tandis que pour le projet TC, cet écart est moins important (25 points). Ceci montre que les hypothèses retenues et la méthodologie utilisée sont beaucoup plus sensibles dans le cas de l'évaluation des projets TR; et (b) qu'il existe une zone confortable de paramètres dans laquelle les deux évaluations coïncident.

Les résultats pour les projets TC et TR relatifs au scénario "TRI le plus probable" sont assez proches (différentiel de 2 points). Compte tenu des estimations du TRI rapportées par d'autres études, l'écart entre ces valeurs et celles du "TRI le plus probable" est plus importante pour les TR

(de l'ordre de 20 points) que pour les TC (de l'ordre de 2 points). Ces constats suggèrent d'une part qu'il existe encore beaucoup de progrès à effectuer en matière d'évaluation des projets de TR. D'autre part, que les spécificités propres aux TC permettent de mieux effectuer des analyses socio-économique, ce qui rend la pratique d'évaluation plutôt compatible. Cependant, des études relatives à l'impact du transfert modal restent encore à développer.

Vers une approche systémique

Une approche systémique, qui englobe l'ensemble du réseau de transport (TC et TR) et des déplacements, peut répondre à différentes interrogations soulevées dans cet article. Les outils de simulation du trafic urbain sont légion, mais peu d'outils englobent les fonctionnalités suivantes: choix modal, description des pics horaires du matin et du soir, choix dynamiques des itinéraires et des temps de départ de manière désagrégée et prise en compte explicite des informations accessibles aux usagers. Nous présentons ci-dessous les résultats du modèle de simulation de trafic, METROPOLIS(8), qui a été utilisé pour les villes de Genève et de Lausanne et qui fera l'objet de développements spécifiques dans le cadre de la région parisienne. De plus, cet outil offre la possibilité de fournir aux utilisateurs une batterie de critères d'évaluation, calculés à des niveaux d'agrégation modulable.

Indicateurs de performance et mesures d'efficacité

Les résultats de METROPOLIS consistent essentiellement en des taux d'utilisation dynamique des infrastructures. Ces résultats permettent de calculer des indicateurs dits de mesure d'efficacité ou MOE(9) qui jouent le rôle de critères d'évaluation. Ces derniers fournissent aux opérateurs un ensemble d'éléments simples et spécifiques à chaque mesure envisagée (scénario). Leur agrégation, suivant une formulation qui exprime les opinions des preneurs de décision, conduit à définir des règles de décision personnalisées pour le choix de projets. Nous reportons le lecteur à [1] et [2] pour une description détaillée de ces indicateurs adaptés au cas dynamique. Les MOE peuvent être classées en deux groupes:

Indicateurs classiques. Cette première série d'indicateurs, proposée par le consor-

8) Voir [10] et [11] pour une description de cet outil de simulation.

9) Measures Of Effectiveness.

Mesures d'efficacité relatives aux politiques de gestion de déplacement simulées.

SCENARII AVEC DEMANDE INÉLASTIQUE						
Mesures d'Efficacité (MOE)	Unités	Situation de référence	Impact de la politique de gestion [%]			
			Contrôle d'accès	Horaires étalés	Horaire flexible	Augment. de taxes
Nombre de déplacements	[dép]	80 068	0	0	0	0
Véhicules - kilomètre	[veh-km]	951 334	-0,1	-1,3	1,1	-,3
Vitesse moyenne	[km/h]	31,8	-0,3	4,5	3,7	0,9
Indice de congestion	[—]	0,301	0,8	-24	-19,9	-4,3
Émission de CO (pendant le pic)	[kg]	10 647	0,2	-8,2	-6,8	-1,9
Accessibilité totale	[SFx10 ⁶]	-2,08	-0,2	4,5	8,8	-15,9
Coût généralisé de déplacement	[CHF]	14,77	0,9	-13	-9,5	11,9
Coût dû au temps de déplacement	[CHF]	11,4	0,2	-9,0	-7,5	-2,1
Coût de deshorage	[CHF]	3,37	3	-26	-16,3	3,9
Temps de trajet	[mn]	22,8	0,2	-9	-7,5	-2,1
Pourcentage d'arrivées précoces	[%]	20,9	0,15	-7,3	-52	9,6
Pourcentage d'arrivées tardives	[%]	27,3	1,4	-16,3	-19,7	-0,4
Pourcentage d'arrivées sans pénalité	[%]	51,8	-0,8	11,6	31,3	3,7
Int. moyen pour les arrivés précoces	[mn]	16,7	0,2	-25,4	1,9	11,7
Int. moyen pour les arrivés tardives	[mn]	7,7	2,3	-10,6	12,8	0,5

tium AIUTO (voir [2]) correspond aux indicateurs suivants: (a) nombre de véhicules - kilomètre, (b) vitesse moyenne, (c) indice de congestion, (d) pourcentage de routes congestionnées (e) émission totale de CO, (f) accessibilité totale (basée sur la notion de surplus) et (g) mesure d'équité sociale.

Indicateurs associés à l'approche dynamique. METROPOLIS permet aussi d'estimer des indicateurs supplémentaires spécifiques aux modèles dynamiques. Ces indicateurs reflètent les conditions de circulation instantanées du réseau: (a) coût généralisé de déplacement, (b) coût dû au temps de déplacement, (c) coût de deshorage, (d) temps de trajet, (e) pourcentage d'arrivées précoces ou tardives, (f) pourcentage d'arrivées dans la plage horaire souhaitée, (g) intervalle moyen pour les arrivées précoces et (h) intervalle moyen pour les arrivées tardives.

Application

Le tableau ci-dessus présente des MOE estimées avec METROPOLIS dans le cadre d'une étude d'évaluation de quatre politiques de gestion de déplacements pour la ville de Genève: contrôle d'accès au

centre ville, réduction des coûts de pénibilité occasionnés par les arrivés tardives, flexibilité des horaires d'arrivée au travail et augmentation des taxes sur l'essence avec redistribution des recettes collectées⁽¹⁰⁾. Ces résultats correspondent à un scénario avec demande inélastique (volume de déplacements constant). D'autres politiques de gestion peuvent aussi être testées; en particulier des scénarii avec demande élastique. La variation relative des MOE est rapportée à une situation de référence correspondant aux conditions de circulation au moment de l'évaluation. De ce tableau, on constate, qu'une politique d'horaires flexibles s'avère globalement être plus attractive. Cependant, pour certains postes, d'autres politiques paraissent plus pertinentes; c'est aux gestionnaires d'adopter la solution la mieux adaptée à leur problématique.

D'un point de vue méthodologique, plusieurs enseignements peuvent être retenus de cet article. La mesure des TRI nécessite une approche désagrégée dans l'espace et dans le temps. De toute évidence, les agrégats spatiaux et temporels induisent des biais difficiles à évaluer. De plus, l'analyse

méthodes

¹⁰ La plage horaire sans pénalité est de 30 minutes, la flexibilité d'arrivée au travail correspond aussi à 30 minutes. Enfin, on considère un doublement du prix de l'essence. Pour plus de détails voir [8] et [9].

des TRI implique des dépendances fortes entre TC et TR, qui doivent être prises en compte au sein d'un même modèle. L'incertitude sur les hypothèses et sur les valeurs paramétriques retenues justifie une étude de sensibilité.

En ce qui concerne les résultats, notre étude suggère une convergence, par rapport aux estimations antérieures, des TRI pour les TC et les TR. Cette convergence repose sur des hypothèses qu'il faut formuler de manière très claire.

En présentant une série d'indicateurs, nous avons aussi suggéré que l'évaluation de projet peut se faire sur d'autres critères que des mesures monétaires de type TRI. Divers autres indicateurs existent et leur pertinence doit être laissée à l'appréciation des décideurs.

Enfin, dans le cadre d'un exercice simple de simulation, nous avons présenté, pour différents scénarii, un ensemble de résultats correspondant à ces indicateurs. Il nous semble que la communauté des chercheurs se doit de mettre à la disposition

des preneurs de décisions des outils d'évaluation unifiés et conviviaux permettant de répondre à une demande qui se fait de plus en plus pressante.

Remerciements

Nous avons bénéficié des remarques, lors d'une présentation de nos travaux, de l'instance d'évaluation du Contrat de Plan État-Région Île-de-France présidée par Monsieur Marcel Boiteux "Transport en commun et routes".

Nous tenons à remercier M. Philippe Domergue, M. Dominique Maillard, le professeur Émile Quinet pour leurs commentaires et suggestions. Nous remercions également Fabrice Marchal pour les résultats de simulation (Section 5).

André de Palma
Oscar Sánchez

Summary page 119

Références

- [1] AIUTO (1997). Project EC No UR-96-SC.241, "Models and Methodologies for the Assessment of Innovative Urban Transport systems and policies Options". Deliverable 1, International Survey of TDM Policies and Innovative Systems.
- [2] AIUTO (1997). Project EC No UR-96-SC.241, "Models and Methodologies for the Assessment of Innovative Urban Transport Systems and Policies Options". Deliverable 2, Definition of the Measures Of Effectiveness (MOEs).
- [3] Arnott, R. de Palma, A. et Lindsey R. (1998). "Recent Development in Bottleneck Model", in Road Pricing Traffic Congestion on the Environment, K. Button et E. Verhoef Editeurs. Edgard Economics. A paraître.
- [4] Ben-Akiva, M. et Lerman, S. (1985). Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. Cambridge, Presses du MIT.
- [5] Ben-Akiva, M., Bolduc, D. et Bradley, M. (1994). "Estimation of Travel Choice Models with Randomly Distributed Values of Time". Transportation Research Record, 1413: 88-97.
- [6] Boiteux, M. sous la direction de (1994). Transports: pour un meilleur choix d'investissements. Commissariat Général du Plan. La documentation française, Paris.
- [7] Commissariat Général du Plan (1992). Transport 2010. La documentation française, Paris.
- [8] de Palma, A. et F. Marchal (1998). "Evaluation of New Transport Demand Management Measures on the City of Geneva with the Use of Innovative Dynamic Traffic Models", soumis au 8ème WCTR.
- [9] de Palma, A. et Marchal, F. (1998). "METROPOLIS: A Dynamic Simulation Model Designed for ATIS Applications", soumis au 8ème WCTR.
- [10] de Palma, A. et Marchal, F. (1996). "METROPOLIS, un outil de simulation du trafic urbain", Transports, n°378: 204-215.
- [11] de Palma, A., Marchal, F. et Nesterov, Y. (1997). "METROPOLIS: A Modular System for Dynamic Traffic Simulation", Transportation Research Record 1607.
- [12] de Palma, A. et Sánchez, O. (1997). Transport routier et transport public: analyse coût-bénéfice et mesures d'accessibilité. Rapport préliminaire préparé pour la SNCF, Paris.
- [13] Domergue, P. et Bourdon, B. (1998). "Rentabilité des projets routiers et des transports collectifs". Annales 1997 de la Direction de la Stratégie SNCF. 75-77.
- [14] Gunn, H. (1991). "Research into Value of Travel Time Savings and Losses, The Netherlands 1985 to 1991". Hague Consulting Group, Pays Bas.
- [15] HCG (1998). TRACE RTD Task 7.1/6 -Elasticities-. Hague Consulting Group, Pays-Bas.
- [16] Leurent, F. (1996). Analyse et mesure de l'incertitude dans un modèle de simulation. Thèse de doctorat, ENPC. Paris.
- [17] Ministère de l'Economie et des Finances (1997). Transports urbains et calcul économique. Rapport. Direction de la prévision, Paris.
- [18] Ministère de l'Équipement (1997). Évaluation économique des projets de transports urbains. Rapport. Conseil Général des Ponts et Chaussées - Centre d'Enseignement et de Recherche Analyse Socio-économique, Paris.
- [19] Ortúzar, J.D. et Willumsen, (1994). Modelling Transport. Seconde édition, Chichester, Wiley.
- [20] Taylor, M. Young, W. et Bonsall, W. (1996). Understanding Traffic Systems: data, analysis and presentation. Aldershot, Ewebury.
- [21] Watling, D. (1994). "Urban Traffic Networks Models and Dynamic Driver Information Systems". Transport Reviews, 14-3: 219-246.