

Évaluation des services ferroviaires urbains

Expériences à Tokyo, Japon

01

Document de référence
2014 • 01

Hironori Kato
Université de Tokyo, Japon

Évaluation des services ferroviaires urbains

Expériences à Tokyo, Japon

Document de référence n° 2014-1

Préparé après la Table ronde sur l'évaluation de la commodité des transports publics
(12-13 septembre 2013, Paris)

Hironori Kato
Université de Tokyo, Japon

Janvier 2014

LE FORUM INTERNATIONAL DES TRANSPORTS

Le Forum international des transports est une organisation intergouvernementale apparentée à l'OCDE qui regroupe 54 pays membres. En tant que laboratoire d'idées stratégique, son objectif est d'aider à définir les priorités d'action dans le domaine des transports au niveau mondial et de veiller à ce qu'elles favorisent la croissance économique, la protection de l'environnement, la cohésion sociale ainsi que la préservation de la vie humaine et du bien-être. Le Forum international des transports organise un sommet annuel des ministres et des principaux représentants du secteur des transports, de la société civile et du monde universitaire.

Le Forum international des transports a été créé par une Déclaration du Conseil des Ministres de la CEMT (Conférence européenne des ministres des transports) lors de la session ministérielle de mai 2006. Il est établi sur la base juridique du Protocole de la CEMT, signé à Bruxelles le 17 octobre 1953, et des instruments juridiques de l'OCDE.

Les pays membres du Forum sont les suivants : Albanie, Allemagne, Arménie, Australie, Autriche, Azerbaïdjan, Belarus, Belgique, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Canada, Chili, Chine, Corée, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, États-Unis, ex-République yougoslave de Macédoine, Finlande, France, Géorgie, Grèce, Hongrie, Inde, Irlande, Islande, Italie, Japon, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Mexique, Moldova, Monténégro, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie et Ukraine.

Le Centre de recherche du Forum international des transports rassemble des statistiques et mène des programmes coopératifs de recherche couvrant tous les modes de transport. Les résultats de ses recherches, largement diffusés, facilitent l'élaboration des politiques dans les pays membres et contribuent aux débats du sommet annuel.

Documents de référence

La série *Documents de référence* du Forum international des transports porte à la connaissance des chercheurs et professionnels les travaux de recherche menés par le Centre de recherche sur les transports ou à sa demande. Les *Documents de référence* visent à faire mieux comprendre le secteur des transports et à éclairer l'élaboration des politiques des transports. Le Forum international des transports n'apporte pas de modifications aux documents de référence, qui reflètent uniquement l'opinion de leurs auteurs.

Ces documents peuvent être téléchargés à l'adresse suivante :

www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html

Adresse du site web du Forum international des transports :

www.internationaltransportforum.org

Pour de plus amples renseignements sur les *Documents de référence* et les autres activités du CCRT : itf.contact@oecd.org

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	5
2. LE MANUEL D'ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES PROJETS FERROVIAIRES UTILISÉ PAR L'ADMINISTRATION AU JAPON	6
2.1. Les manuels d'analyse coûts-avantages au Japon.....	6
2.2. Manuel d'analyse coûts-avantages des projets ferroviaires	7
2.3. Estimation du bénéfice pour l'utilisateur dans les projets ferroviaires.....	8
2.4. Définitions du coût généralisé.....	8
2.5. Méthodes d'évaluation des composantes du service ferroviaire	10
2.6. Méthode complémentaire d'évaluation de l'amélioration des correspondances dans les gares ferroviaires.....	14
2.7. Méthode d'évaluation de la fiabilité du service ferroviaire	16
3. EXEMPLE D'ÉVALUATION D'UN SERVICE FERRÉ URBAIN : SCHÉMA DIRECTEUR DE 2000 POUR LE DÉVELOPPEMENT DU TRANSPORT FERRÉ URBAIN À TOKYO.....	16
3.1. Le marché du transport ferré urbain au Japon : le cas de Tokyo	16
3.2. Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo	18
3.3. Analyse de la demande de transport ferré et évaluation des projets dans le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo	20
3.4. Valeurs des services ferroviaires estimées dans le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo	22
CONCLUSIONS	26
REMERCIEMENTS	28
RÉFÉRENCES	29

1. INTRODUCTION

La promotion des transports publics, lesquels comprennent les services de chemins de fer, de métro, d'autobus express et de bus, est l'une des politiques de transports urbains les plus plébiscitées par les autorités des transports dans de nombreux pays. Ce succès peut s'expliquer par la nécessité, dans la société, d'œuvrer en faveur d'un système de transports durables en incitant la population à recourir aux modes respectueux de l'environnement. Le transfert modal de l'automobile vers les transports en commun est particulièrement mis en avant dans la planification des transports urbains car beaucoup de villes pâttissent de graves encombrements, qui entraînent des pertes économiques ainsi que des atteintes à l'environnement aux niveaux local, régional et mondial. Or l'amélioration des services est cruciale pour attirer des voyageurs vers les transports publics. Elle passe notamment par une augmentation de la fréquence de service, la réduction du temps de trajet, la modernisation des installations dans les gares et les stations, et la mise en circulation de véhicules de plus grande capacité. Comme les transports publics relèvent directement des autorités publiques ou reçoivent un soutien financier de l'État et/ou d'entités du secteur public dans la plupart des cas, les investissements qui y sont consacrés font généralement l'objet d'évaluations sous la forme d'analyses coûts-avantages. Mais les déplacements se composent de nombreux éléments qu'il est nécessaire d'évaluer séparément et en détail – les voyageurs doivent notamment accéder à l'arrêt de transport en commun, attendre que le service soit assuré, voyager dans la rame, passer d'une ligne à une autre, et enfin sortir de la gare à l'arrivée à destination. C'est pourquoi l'analyse des retombées bénéfiques des projets de transports publics est plus difficile que celle des avantages des projets routiers. Il est donc indispensable de mettre au point une méthodologie claire permettant d'évaluer en termes monétaires les avantages attendus d'une modification des services de transports publics en distinguant chacun des éléments qui les constituent.

Il en va de même pour les services ferroviaires urbains au Japon. Le ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (MLIT) a adopté en 1998 un Manuel d'analyse coûts-avantages (ACA) applicable aux projets ferroviaires afin de mettre en place une méthodologie uniformisée pour évaluer les services ferroviaires au Japon, qui a été appliquée à plusieurs projets ferroviaires subventionnés par l'État. Ce Manuel comporte des méthodes détaillées permettant d'évaluer l'amélioration des services de transport ferré, élément par élément, ainsi que moyennant leurs multiplicateurs et paramètres. Certaines parties du Manuel d'ACA sont très liées à la spécificité du marché japonais des transports ferrés urbains ; il peut cependant se révéler intéressant pour le Japon de partager ses expériences avec d'autres pays membres de l'OCDE. De plus, alors que des évaluations des temps de trajet sont analysées en ce qui concerne le trafic routier dans un certain nombre d'études au Japon (par exemple, Kato *et al.*, 2010b ; 2011), les services de transports publics ont rarement fait l'objet de ce type d'évaluation (Kato, 2007 en est une exception).

Le présent rapport a pour objet de décrire le manuel utilisé par l'administration et de rendre compte des pratiques récemment mises en œuvre au Japon en matière de

valorisation des services de transport ferré urbain. La suite du rapport commence par présenter le Manuel d'analyse coûts-avantages des projets ferroviaires mis en application dans le pays, en décrivant en détail les méthodes d'évaluation des services ferroviaires. Est ensuite exposé le dernier schéma directeur de développement du transport ferré urbain dans la zone métropolitaine de Tokyo, y compris les objectifs des pouvoirs publics qui y sont définis. Après une analyse des caractéristiques du marché ferroviaire urbain, le rapport présente les valeurs des services calculées à l'aide du modèle de la demande de déplacements sur lequel repose le schéma directeur. Enfin, il aborde d'autres questions et résume les conclusions de l'étude.

2. LE MANUEL D'ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES PROJETS FERROVIAIRES UTILISÉ PAR L'ADMINISTRATION AU JAPON

2.1. Les manuels d'analyse coûts-avantages au Japon

En 1998, le Gouvernement japonais a officiellement intégré l'analyse coûts-avantages (ACA) dans le cadre de l'évaluation des projets à financement public. L'adoption de manuels officiels d'ACA faisait suite à une déclaration politique faite par le Premier ministre de l'époque, M. Ryuichiro Hashimoto, dans laquelle il appelait à améliorer l'efficacité des investissements publics. (Il est à noter qu'avant l'adoption officielle de l'ACA au Japon, diverses méthodes, notamment des modèles économétriques régionaux, des modèles hédonistes et des modèles d'équilibre général, étaient appliquées en fonction des circonstances, sans suivre des règles précises.)

Au Japon, divers manuels d'ACA ont été mis au point pour différents types de projets d'infrastructure publics tels que des aéroports, des projets ferroviaires, des routes, des ports maritimes, des projets dans l'agriculture, des projets d'urbanisme, des parcs naturels, ainsi que des projets fluviaux et côtiers. Ces manuels étaient conçus de manière autonome par différents bureaux relevant du MLIT. Bien que ce ministère formule des principes directeurs d'ordre général (MLIT, 2009) applicables à tous les projets liés aux transports réalisés sous sa tutelle, les détails des manuels d'ACA diffèrent selon le type de projet. Le tableau 1 présente les manuels d'ACA les plus récents visant des investissements dans les transports au Japon. Le premier de ces manuels concernant les projets ferroviaires a été publié en 1998 (MLIT, 1998) par le Bureau des chemins du fer du MLIT. Établi avec le concours de comités consultatifs qui comptaient parmi leurs membres des experts en économie et en recherche sur les transports, il a ensuite été révisé à trois reprises : en 2000, 2005 et 2012 (MLIT, 2000; 2005; 2012). Ces révisions imposaient de nouvelles exigences, par exemple le recours à des méthodes affinées de réévaluation et d'évaluation ex post, l'application de nouvelles méthodes d'évaluation aux projets de prévention des catastrophes, la prise en compte des avantages accessoires des effets sur l'environnement ou l'adoption des techniques les plus récentes d'estimation des avantages. Ces manuels d'ACA sont librement accessibles en ligne, mais en japonais seulement.

Tableau 1. **Derniers manuels d'analyse coûts-avantages de l'investissement dans les transports au Japon**

Type de projet	Titre	Dernière mise à jour
Aéroportuaire	<i>Cost-effectiveness Analysis Manual of Airport Development Projects Version 4</i> (Manuel d'analyse du rapport coût-efficacité des projets de développement aéroportuaire, version 4)	mars 2008
Ferroviaire	<i>Cost-effective Analysis Manual of Rail Projects 2012</i> (Manuel d'analyse coût-efficacité des projets ferroviaires, 2012)	juillet 2012
Routier	<i>Cost-benefit Analysis Manual</i> (Manuel d'analyse coûts-avantages)	novembre 2010
Portuaire maritime	<i>Cost-effectiveness Analysis Manual of Port Development Projects</i> (Manuel d'analyse du rapport coût-efficacité des projets de développement portuaire)	juin 2011

Source: Auteur

2.2. Manuel d'analyse coûts-avantages des projets ferroviaires

Le Manuel d'analyse coûts-avantages des projets ferroviaires présente des méthodes et des exemples d'évaluation de projets ferroviaires, non seulement urbains, mais aussi interurbains et ruraux. Il couvre les projets de construction de nouvelles lignes ferroviaires, d'amélioration des lignes existantes, d'amélioration des gares, de mise en accessibilité des services ferroviaires et d'investissement pour la prévention de catastrophes dans le secteur ferroviaire, tous financés intégralement ou en partie par l'État. On trouve dans le Manuel trois catégories d'évaluations de projets : évaluation ex ante, réévaluation et évaluation ex post. L'évaluation ex ante a pour but d'analyser la faisabilité d'un nouveau projet, la réévaluation vise à étudier la faisabilité de la poursuite de l'exécution d'un projet en cours depuis cinq ans ou plus, et l'évaluation ex post est une étude d'impact des projets déjà réalisés effectuée cinq ans après leur achèvement.

Ce Manuel applique la théorie classique de l'analyse coûts-avantages (Small et Verhoef, 2007), selon laquelle l'analyse économique permet de produire trois indicateurs : la valeur actuelle nette, le rapport coûts/avantages et le taux de rendement économique interne. Les périodes sur lesquelles les projets sont évalués sont de 30 et de 50 ans à partir de l'année de construction. Le taux social d'actualisation, de 4 %, est supposé constant pendant toute la période considérée. Une analyse de sensibilité doit être effectuée par rapport à la demande totale de déplacements, au coût total du projet et à l'année de construction. Les avantages et les coûts découlant d'un projet de transport sont calculés en prenant pour hypothèse deux scénarios : un scénario sans projet et un scénario avec projet. Les avantages sont classés dans trois rubriques, à savoir le bénéfice pour l'utilisateur, les avantages pour le fournisseur et les autres avantages. Le bénéfice pour l'utilisateur est estimé en utilisant la méthode du surplus du consommateur à partir d'une analyse de la demande de déplacements. Les avantages pour le fournisseur sont calculés sur la base du bénéfice net de l'opérateur ferroviaire. Parmi les autres avantages figurent les avantages (ou désavantages) pour l'environnement, par exemple la réduction des émissions de dioxyde de carbone des voitures, l'atténuation (ou l'augmentation) du bruit ferroviaire et la valeur d'existence.

Même si le Manuel d'ACA ne mentionne pas explicitement une méthode de prévision de la demande de transport, il compte que cette demande sera analysée selon l'approche des choix discrets (par exemple, Ben-Akiva et Lerman, 1985) pour étudier les choix d'itinéraire ferroviaire, en particulier dans le cas des projets ferrés urbains. Il y a lieu de signaler que pour trois grandes métropoles japonaises – Tokyo, Osaka et Nagoya –, on dispose de données sur les choix d'itinéraire des usagers du réseau ferré fondées sur les préférences révélées (PR). Depuis 1960, le MLIT procède tous les cinq ans à une enquête à grande échelle sur les transports métropolitains, dont le questionnaire (sur support papier) est géré avec l'aide des exploitants des transports publics locaux, notamment les compagnies de chemins de fer et les exploitants d'autobus (ITPS, 2008). Les enquêtés sont invités à décrire leurs déplacements quotidiens par les transports publics, en précisant notamment l'origine, la destination, le mode de déplacement pour accéder aux gares ferroviaires, les itinéraires ferroviaires choisis, l'heure de départ et le type de titre de transport utilisé. La demande visant les itinéraires ferroviaires dans la métropole de Tokyo est généralement analysée à l'aide de modèles multinomiaux logit ou probit, en utilisant les données de l'enquête susmentionnée sur les transports métropolitains. Selon le Manuel d'ACA, le bénéfice pour l'utilisateur est ensuite estimé sur la base du surplus du consommateur escompté, lorsque l'approche des choix discrets est appliquée pour modéliser la demande visant les itinéraires.

2.3. Estimation du bénéfice pour l'utilisateur dans les projets ferroviaires

Le Manuel d'ACA expose la méthode d'estimation du bénéfice pour l'utilisateur basée sur le principe du coût généralisé. Il pose l'hypothèse du coût généralisé à partir de la paire origine-destination (OD). Le bénéfice est calculé en appliquant la formule de division par deux, qui s'écrit :

$$UB = \sum_{ij} \frac{1}{2} (GC_{ij}^o - GC_{ij}^w) (X_{ij}^o - X_{ij}^w) \quad (1)$$

où UB est le bénéfice pour l'utilisateur, GC_{ij}^o est le coût généralisé du déplacement de la zone i à la zone j dans le scénario sans projet, GC_{ij}^w est le coût généralisé du déplacement de la zone i à la zone j dans le scénario avec projet, X_{ij}^o est la demande de déplacements de la zone i à la zone j dans le scénario sans projet, et X_{ij}^w est la demande de déplacements de la zone i à la zone j dans le scénario avec projet.

2.4. Définitions du coût généralisé

Le Manuel d'ACA présente deux approches pour définir le coût généralisé. La première utilise un indicateur correspondant au logsum, contrairement à la seconde. Cet indicateur est l'utilité maximale prévue ou l'utilité indirecte prévue calculée à l'aide du modèle logit multinomial (Williams, 1977).

Approche avec le logsum

Cette approche postule que le modèle logit multinomial est utilisé pour analyser la demande de déplacements dans le contexte des choix de mode de transport ou des choix d'itinéraire ferroviaire. Le coût généralisé est calculé en intégrant une fonction d'utilité dans le modèle logit multinomial :

$$GC_{ij} = \frac{1}{\partial V_{k,ij} / \partial F_{k,ij}} \ln \sum_k V_{k,ij} \quad (2)$$

où

$V_{k,ij}$ est la fonction d'utilité (indirecte) à la condition qu'une option (mode de transport ou itinéraire ferroviaire) k soit choisie pour effectuer un déplacement de la zone i à la zone j et

$F_{k,ij}$ est le coût du transport ou tarif dans la fonction d'utilité à la condition qu'une option (mode de transport ou itinéraire ferroviaire) k soit choisie pour effectuer un déplacement de la zone i à la zone j .

Comme la fonction d'utilité associée au coefficient générique concernant le coût du transport est généralement supposée linéaire, l'utilité marginale du revenu est constante. Il en résulte la formule suivante présentée dans le Manuel pour le coût généralisé :

$$GC_{ij} = \frac{1}{\hat{\theta}} \ln \sum_k V_{k,ij} \quad (3)$$

dans laquelle $\hat{\theta}$ est le coefficient estimé du coût du transport dans la fonction d'utilité.

Avec l'approche de modélisation des choix discrets, on peut estimer les valeurs du service de transport public, notamment celles du temps de trajet, de la fréquence du service et de l'affluence, moyennant les données empiriques de l'analyse de la demande de déplacements. Ces valeurs ne sont toutefois pas utilisées pour estimer le bénéfice total pour l'utilisateur parce qu'elles sont implicitement incorporées dans la fonction d'utilité. En revanche, elles servent souvent à calculer les parts des différents éléments qui entrent dans le bénéfice total pour l'utilisateur.

Approche sans le logsum

Cette approche table en premier lieu sur une hypothèse concernant le coût généralisé basé sur l'itinéraire. Le Manuel indique que la formule du coût généralisé d'un itinéraire ferroviaire s'écrit de la façon suivante :

$$GC_{k,ij} = F_{k,ij} + \sum_a \left(\omega_a \cdot \sum_{pq} \delta_{k,ij,pq} \cdot T_{a,k,ij,pq} \right) + \sum_b \left(\omega_b \cdot \sum_{pq} \delta_{k,ij,pq} \cdot \text{comf}_{b,k,ij,pq} \right) \quad (4)$$

où

$GC_{k,ij}$ est le coût généralisé de l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ;

$T_{a,k,ij,pq}$ est le temps de trajet correspondant à la liaison de type a dans la liaison entre p et q de l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ;

$comf_{a,k,ij,pq}$ est le niveau de confort de la liaison de type b dans la liaison entre p et q de l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ;

$\delta_{k,ij,pq}$ est égal à 1 si la liaison entre p et q est intégrée dans l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ; il est égal à 0 si tel n'est pas le cas ;

ω_a est la valeur du temps de trajet pour la liaison de type a ; et

ω_b est la valeur du niveau de confort pour la liaison de type b .

Le Manuel donne comme exemples de liaisons de type a le déplacement à bord du véhicule, l'accès à la gare ferroviaire, la sortie de la gare ferroviaire et les correspondances à l'intérieur des gares, ainsi que la fréquence du service comme exemple de liaison de type b .

Enfin, le coût généralisé pour la paire OD est calculé en utilisant le coût généralisé basé sur l'itinéraire. Le Manuel propose d'estimer le coût généralisé pour la paire OD en faisant la moyenne pondérée des coûts généralisés des itinéraires compte tenu des parts de la demande de déplacements correspondant à l'itinéraire, méthode qui n'est cependant pas solidement étayée sur le plan théorique (Kidokoro, 2004; Kato et al., 2003a).

2.5. Méthodes d'évaluation des composantes du service ferroviaire

Le Manuel décrit également des méthodes permettant d'attribuer une valeur à chacune des composantes du service ferroviaire, principalement dans le but d'estimer le coût généralisé sans le logsum, mais aussi pour calculer les parts des différents éléments du bénéfice total pour l'utilisateur qui ressortent en cas d'application de l'approche avec le logsum.

Temps de trajet à bord du véhicule

Le bien-être de l'utilisateur lié au temps de trajet passé à bord du véhicule est calculé à l'aide d'une valeur attachée à ce temps, selon la formule suivante :

$$\omega_{in-vehicle} \cdot \sum_{pq} \delta_{k,ij,pq} \cdot T_{in-vehicle,k,ij,pq} \quad (5)$$

dans laquelle

$\omega_{in-vehicle}$ est la valeur du temps de trajet à bord du véhicule ;

$\delta_{k,ij,pq}$ est égal à 1 si la liaison entre p et q est intégrée dans l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ; il est égal à 0 si tel n'est pas le cas ; et

$T_{in-vehicle,k,ij,pq}$ est le temps de trajet à bord du véhicule pour la liaison entre p et q de l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j .

Le Manuel recommande d'estimer empiriquement la valeur du temps de trajet à partir des données sur les déplacements car elle peut varier d'une région à l'autre et en fonction des caractéristiques des individus. Néanmoins, si les données requises pour estimer la valeur du temps de trajet ne sont pas disponibles, le Manuel invite les analystes à en préciser la cause, et les autorise à utiliser une valeur standard. Il indique les valeurs standard de l'année 2010, figurant au tableau 2, qui sont des estimations établies à partir des statistiques de l'administration japonaise pour l'ensemble du pays, Tokyo et Osaka.

Tableau 2. **Valeurs standard du temps en 2010, estimées à partir de l'enquête statistique mensuelle sur l'emploi**

	Japon	Tokyo	Osaka
Valeur du temps (JPY/min)	36.2	47.0	39.2

Source: Rapport annuel de 2010 – Enquête statistique mensuelle sur l'emploi : enquête locale, ministère de la Santé, du Travail et des Affaires sociales, Japon.

Note 1: Les valeurs du temps sont calculées en divisant le revenu monétaire mensuel moyen des travailleurs permanents (travaillant dans un lieu de travail avec plus de quatre autres travailleurs) par la moyenne mensuelle des heures travaillées par les travailleurs permanents.

Note 2: le tableau 2 présente les valeurs du temps en 2010. Il conviendrait d'utiliser les statistiques les plus récentes, lorsque les données sont disponibles, en suivant la règle expliquée à la note 1.

Le Manuel signale que les valeurs du temps pour les enfants et les personnes âgées qui ne travaillent pas devraient être égales à la valeur standard parce qu'un autre membre du ménage pourrait consentir à payer pour gagner du temps de trajet, considérant que c'est un coût d'opportunité dans l'hypothèse où aucun service ferroviaire ne serait disponible.

Correspondances dans les gares ferroviaires

Le Manuel définit deux méthodes pour évaluer la commodité des correspondances dans les gares ferroviaires : une approche avec multiplicateur et une approche à paramètre constant.

La première repose sur la formule suivante :

$$\alpha_{transfer} \cdot \omega_{in-vehicle} \cdot \sum_{pq} \delta_{k,ij,pq} \cdot T_{transfer,k,ij,pq} \quad (6)$$

où

$\alpha_{transfer}$ est le multiplicateur relatif au temps nécessaire pour effectuer la/les correspondance(s) (= 2);

$\omega_{in-vehicle}$ est la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule ;

$\delta_{k,ij,pq}$ est égal à 1 si la liaison entre p et q est intégrée dans l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ; il est égal à 0 si tel n'est pas le cas ; et

$T_{transfer,k,ij,pq}$ est le temps de trajet passé à effectuer la/les correspondance(s) sur la liaison entre p et q de l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j .

Ce multiplicateur est repris d'études antérieures portant sur les choix d'itinéraires ferroviaires à Tokyo, par exemple celle de Yai et al. (1998). Signalons que le multiplicateur ci-dessus relatif au temps de correspondance(s) (=2) est plus élevé que ceux du temps de correspondance(s) par type de correspondance (= 0.89 à 1.65) indiqués plus loin au tableau 4. Cela tient probablement à ce que le multiplicateur ci-dessus prend en compte l'effet psychologique associé à la nécessité de faire la/les correspondance(s). Ce multiplicateur comporte donc un élément variable, proportionnel au nombre de minutes qu'exige la correspondance, qui s'ajoute à l'élément fixe.

L'autre formule, utilisée dans la méthode à paramètre constant, est la suivante :

$$\omega_{in-vehicle} (10 \cdot \lambda_{transfer,k,ij}) \quad (7)$$

où

$\omega_{in-vehicle}$ est la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule ; et

$\lambda_{transfer,c,k,ij}$ est le nombre ou la fréquence des correspondances sur l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j .

Cette approche postule que la valeur unitaire des correspondances est égale à la valeur de 10 minutes de temps de trajet à bord du véhicule.

Encombrement des véhicules

Le confort (ou l'inconfort) imputable à l'entassement des voyageurs dans les véhicules est calculé au moyen de la formule ci-après :

$$\omega_{in-vehicle} \sum_{pq} \delta_{k,ij,pq} \cdot T_{in-vehicle,k,ij,pq} \cdot f(x_{pq}, cap_{pq}) \quad (8)$$

dans laquelle

$\omega_{in-vehicle}$ est la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule ;

$\delta_{k,ij,pq}$ est égal à 1 si la liaison entre p et q est intégrée dans l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ; si ce n'est pas le cas, il est égal à 0 ;

$T_{in-vehicle,k,ij,pq}$ est le temps de trajet passé à bord du véhicule sur la liaison entre p et q de l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ;

$f(\cdot)$ est la fonction de l'encombrement des véhicules ;

x_{pq} est le flux de circulation sur la liaison entre p et q ; et

cap_{pq} est la capacité de transport sur la liaison entre p et q .

Le Manuel présente les fonctions de l'encombrement des véhicules citées au tableau 3.

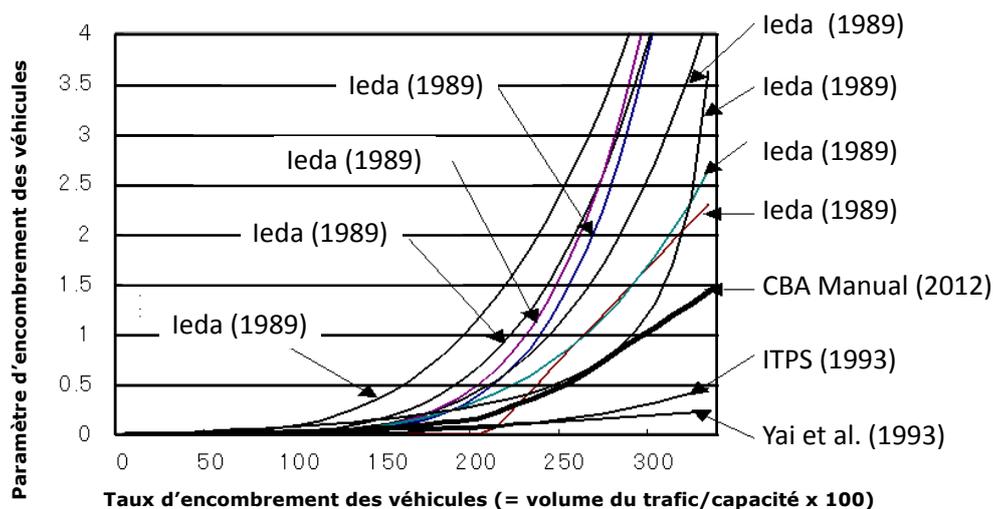
Tableau 3. **Fonctions de l'encombrement des véhicules proposées par le Manuel d'analyse coûts-avantages**

Taux d'encombrement des véhicules	Fonction de l'encombrement des véhicules
Moins de 100 %	$f = 0.0270R$
de 100 à 150 %	$f = 0.0828R - 0.0558$
de 150 à 200 %	$f = 0.179R - 0.200$
de 200 à 250 %	$f = 0.690R - 1.22$
250 % ou plus	$f = 1.15R - 2.37$

Note: R est le taux d'encombrement des véhicules ; il est égal, par définition, au flux de circulation divisé par la capacité de transport, autrement dit $R_{pq} = x_{pq}/cap_{pq}$.

Le graphique 1 présente les courbes des fonctions de l'encombrement des véhicules, y compris celles indiquées au tableau 3 et d'autres estimations au Japon.

Graphique 1. **Fonctions de l'encombrement des véhicules**



Source: Légèrement adapté à partir de MLIT (2012)

Il convient de noter que la fonction de l'encombrement des véhicules n'est pas égale au multiplicateur de l'encombrement des véhicules ni à la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule. Le multiplicateur de l'encombrement des véhicules s'obtient au moyen de la formule suivante :

$$\alpha_{cong} = 1 + f(x_{pq}, cap_{pq}) \quad (9).$$

La capacité de transport d'un service ferroviaire est généralement définie en termes de capacité horaire. Elle est estimée en utilisant la capacité des voitures exprimée en nombre de voyageurs, le nombre de voitures du matériel roulant et la fréquence de circulation. La capacité voyageurs des voitures est définie par les normes industrielles japonaises (*Japanese Industrial Standards, JIS*). La norme de matériel roulant qui énonce les exigences générales concernant les caisses de voitures à voyageurs (JIS E 7103, 2006) en donne la définition suivante :

5.1 a) Capacité voyageurs : elle est égale à la somme de la capacité assise et de la capacité debout.

- 1) Capacité en places assises : elle est égale à la largeur totale de tous les sièges d'une caisse de voiture divisée par la largeur d'un siège occupé par un voyageur, arrondie à la décimale inférieure la plus proche. A défaut d'accord spécifique entre le constructeur de matériel roulant et le client eu égard à la capacité assise, la largeur d'un siège voyageur est fixée à 430 mm.*
- 2) Capacité en places debout : elle est égale à la surface utile divisée par la surface occupée par un voyageur, arrondie à la décimale inférieure la plus proche. La surface utile est calculée en soustrayant la surface occupée par les sièges, majorée d'une bande de 250 mm de largeur devant les sièges, de la surface totale de la voiture à voyageurs, dont la largeur effective est égale ou supérieure à 550 mm et la hauteur effective est égale ou supérieure à 1 900 mm. A défaut d'accord entre le constructeur de matériel roulant et le client eu égard à la capacité en places debout, la surface occupée par un voyageur est fixée à 0.3 m².*

2.6. Méthode complémentaire d'évaluation de l'amélioration des correspondances dans les gares ferroviaires

Le Manuel donne également des instructions complémentaires pour évaluer les projets ferroviaires visant à améliorer les correspondances. Il fait suite ainsi à l'appel récemment lancé par le gouvernement, dans sa stratégie de développement d'un réseau ferroviaire sans rupture, à prêter attention aux projets d'amélioration des gares ferroviaires. Les projets mentionnés dans le Manuel sont notamment ceux qui permettent de réduire le temps nécessaire aux correspondances, les obstacles à celles-ci, l'encombrement à l'intérieur des gares et les temps d'attente.

Multiplicateurs du temps de correspondances par type de correspondance

Le Manuel recommande aux responsables de la planification des transports de recourir principalement à des modèles de la demande de déplacements pour évaluer les correspondances dans les gares. Les coefficients estimés dans le cadre d'une modélisation de la demande de déplacements permettent d'attribuer des valeurs aux correspondances, par type de correspondance, lorsque le modèle comporte des variables pour le niveau de service en cas de montée ou de descente d'escaliers, d'utilisation

d'escaliers mécaniques, etc. Le Manuel décrit une méthode d'évaluation des correspondances dans les gares par type de correspondance, utilisable lorsque l'on ne dispose pas de modèles de la demande de déplacements.

La formule suivante permet d'évaluer les correspondances dans les gares :

$$\alpha_r \cdot \omega_{in-vehicle} \cdot T_{transfer,r} \quad (10)$$

où

α_r est le multiplicateur du type de correspondance r ;

$\omega_{in-vehicle}$ est la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule ; et

$T_{transfer,r}$ est le temps de trajet correspondant au type de correspondance r .

Les correspondances se classent par type selon qu'elles nécessitent de monter ou descendre des escaliers à pied, de parcourir à pied un cheminement sans marches ou d'emprunter des escaliers mécaniques. Les multiplicateurs correspondants sont présentés au tableau 4.

Tableau 4. **Multiplicateurs du temps de correspondances par type de correspondance**

Type de correspondance	Montée d'escaliers à pied	Descente d'escaliers à pied	Parcours sans marches	Utilisation d'escaliers mécaniques
Multiplicateur	1.65	1.53	1.25	0.89

Source: Institution of Transport Policy Studies (2000)

Il est à noter que Kato et al. (2003b) décrivent aussi des méthodes d'estimation et des résultats de la valorisation du temps de correspondances, par type de correspondance, dans une communication utilisée comme source pour établir le rapport de l'Institution of Transport Policy Studies (2000).

Multiplicateur du temps d'attente dans les gares

Le Manuel distingue deux types de temps d'attente dans les gares : avant les escaliers et aux portillons. On suppose qu'il est avantageux à cet égard d'élargir les escaliers existants et d'installer des portillons supplémentaires.

La formule pour calculer le coût généralisé du temps d'attente s'écrit comme suit :

$$\alpha_{wait} \cdot \omega_{in-vehicle} \cdot T_{wait} \quad (11)$$

où

α_{wait} est le multiplicateur du temps d'attente (=1) ;

$\omega_{in-vehicle}$ est la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule ; et

T_{wait} est le temps d'attente.

Le Manuel indique également que la surface occupée par un voyageur est de 0.5 m² ; au-delà du seuil de deux personnes par m², il se forme des files d'attente.

2.7. Méthode d'évaluation de la fiabilité du service ferroviaire

Le Manuel ne précise pas de méthode officielle pour évaluer la fiabilité du service ferroviaire, mais il donne à titre d'exemple une estimation de la valeur des avantages découlant de son amélioration. Dans cet exemple, le multiplicateur associé aux retards est, par hypothèse, égal à 1. Il s'ensuit la formule ci-après à appliquer pour évaluer la fiabilité du service ferroviaire :

$$\alpha_{delay} \cdot \omega_{in-vehicle} \cdot T_{delay} \quad (12)$$

où

α_{delay} est le multiplicateur du temps de retard (=1);

$\omega_{in-vehicle}$ est la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule ; et

T_{wait} est le retard par rapport à l'horaire indiqué.

3. EXEMPLE D'ÉVALUATION D'UN SERVICE FERRÉ URBAIN : SCHÉMA DIRECTEUR DE 2000 POUR LE DÉVELOPPEMENT DU TRANSPORT FERRÉ URBAIN À TOKYO

3.1. Le marché du transport ferré urbain au Japon : le cas de Tokyo

Tokyo, avec environ 36 millions d'habitants en 2005 dans sa région métropolitaine, est l'une des agglomérations les plus peuplées du monde. Elle est célèbre aussi pour la place privilégiée qu'y occupe le transport ferré, dont la fréquentation s'élevait à 26.22 millions de voyageurs par jour en 2005. La part modale du rail représentait 30 % en 2008 selon l'enquête sur les déplacements réalisée cette même année, soit une hausse de 25 % par rapport à son niveau de 2003. Le développement du réseau ferré urbain est l'une des raisons qui expliquent l'augmentation récente de la demande de transport ferroviaire. De même, les changements intervenus depuis peu dans la répartition de la population, ainsi que l'envolée des prix des carburants, ont peut-être influencé les choix modaux des individus. Quoi qu'il en soit, l'activité économique de Tokyo est très tributaire de l'efficacité de son réseau ferré urbain.

Le marché ferroviaire urbain présente des caractéristiques uniques en leur genre à Tokyo. En premier lieu, de nombreux services ferroviaires sont assurés par des entreprises privées. Chaque société de chemins de fer possède sa propre infrastructure ferroviaire,

son matériel roulant, et a son propre système de gestion. Ce sont, pour l'essentiel, des entreprises qui jouissent d'un monopole dans leur propre réseau. Il est à noter que le réseau de l'une d'elles peut être directement interconnecté avec celui d'une autre, mais les services assurés sur un réseau ferré sont en général exploités par la société à laquelle il appartient. En dépit du monopole de la prestation de services ferroviaires dont jouissent ces sociétés sur leur réseau, elles sont parfois en concurrence avec d'autres exploitants ferroviaires possédant un réseau qui relie la même paire de villes. Par exemple, Tokyo et Yokohama sont desservies par trois lignes ferrées exploitées par trois entreprises ferroviaires différentes : JR East, Tokyu Co. et Keikyu Co. La concurrence entre elles est acharnée et, comme chacune possède sa propre infrastructure et détermine ses propres tarifs et horaires, elles s'efforcent d'améliorer la tarification, les temps de trajet et les installations dans les gares afin d'attirer davantage de voyageurs.

Deuxièmement, le réseau ferré de Tokyo s'est développé sous l'impulsion de l'administration centrale, qui élabore les plans de développement à long terme des transports ferrés urbains sous forme de « schémas directeurs » dont le poids est important dans les prises de décision des sociétés de chemins de fer. Le premier schéma directeur du réseau ferré urbain de Tokyo, établi au début du XXe siècle, a aujourd'hui plus de 100 ans (Morichi, 2000). Au moins une dizaine de schémas directeurs ont été soumis par le comité gouvernemental compétent à la demande du Ministre alors en exercice au MLIT, le dernier ayant été publié en 2000 dans le *Report No. 18 of the Council for Transport Policy* (Morichi et al., 2001). Signalons cependant que ces schémas directeurs n'ont pas de valeur contraignante : ils exposent la vision des autorités concernant l'avenir du réseau ferré urbain à Tokyo, mais l'État ne peut pas obliger les exploitants ferroviaires à s'y plier. Cela étant, depuis longtemps sur ce marché au Japon, la plupart des projets ferroviaires sont mis en œuvre en respectant volontairement ces schémas directeurs.

Troisièmement, les usagers des transports ferrés de Tokyo pâtissent depuis de nombreuses années d'une congestion chronique (Kato et al., 2012). La demande de transport ferré urbain pour les déplacements domicile-travail a considérablement augmenté entre les années 60 et les années 80, en raison de la croissance ininterrompue de la population active, essentiellement due à l'exode rural en quête de possibilités d'emploi. En dépit des efforts déployés par les exploitants ferroviaires en vue d'accroître la capacité de transport en investissant dans de nouvelles lignes ferrées, en augmentant la fréquence des services et la capacité des gares, ainsi qu'en mettant en circulation du matériel roulant de grande capacité, la demande a crû beaucoup plus rapidement que l'offre. En conséquence, les autorités ont concentré l'attention sur une politique des transports visant à réduire la congestion, et l'évaluation de l'encombrement des rames est encouragée depuis les années 80 au Japon.

Quatrièmement, il y a lieu de relever une tendance démographique récente à Tokyo : le vieillissement rapide de la population. Les personnes âgées — de 65 ans et plus — représentaient 8 % de la population de la métropole de Tokyo en 1985 ; en 2005, elles étaient 18 % et, en 2015, ce pourcentage devrait atteindre 24 %. On s'attend aussi à une diminution de la population active à l'avenir. La question du vieillissement pourrait se poser bientôt pour d'autres pays de l'OCDE, d'où l'intérêt que peut revêtir pour eux l'expérience de Tokyo en matière de politique des transports.

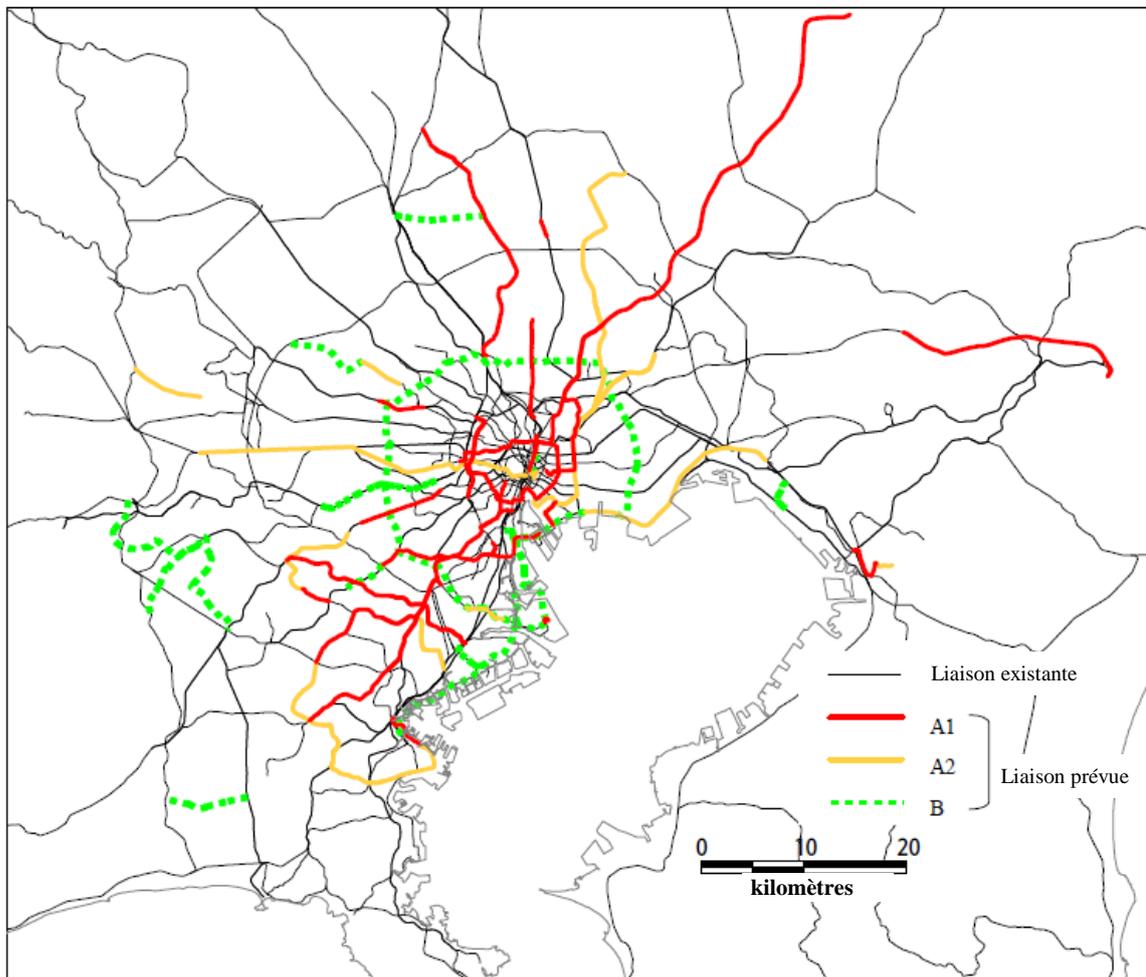
3.2. Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo

Le MLIT a achevé en janvier 2000 le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain (Morichi, 2000), présentant une configuration idéale de réseau ferré urbain pour la métropole de Tokyo en 2015, ainsi que les projets ferroviaires nécessaires. Ce plan visait cinq objectifs majeurs dont la réalisation devait permettre de surmonter les problèmes prévus sur le marché ferroviaire urbain de Tokyo : la « réduction de l'encombrement des véhicules », les « gains de temps de trajet », la « contribution au réaménagement urbain », l'« amélioration de l'accès aux aéroports et aux trains à grande vitesse », et la « mise en place d'un réseau de transport sans rupture doté d'installations d'accessibilité ». Le premier objectif est lié au problème non encore résolu de la congestion à Tokyo. Le gouvernement a déclaré que le taux de congestion devrait être égal ou inférieur à 150 % aux heures de pointe du matin sur 31 liaisons ferroviaires importantes, et la saturation des rames fait l'objet d'un suivi régulier sur les principales lignes qui desservent Tokyo. Le deuxième objectif est lié à la politique de déconcentration urbaine mise en œuvre dans la région métropolitaine de Tokyo, par la création de pôles satellites afin que les entreprises s'y implantent. Les gains de temps visés ne devraient pas uniquement concerner les migrations alternantes entre zones résidentielles et quartiers d'affaires, mais aussi les déplacements entre pôles secondaires. Le troisième objectif vise à accroître la capacité de transport ferroviaire, en particulier dans le quartier central d'affaires de Tokyo où ont été construits bon nombre d'immeubles de grande hauteur à usage d'habitation ou de bureaux depuis les années 90. L'accroissement de capacité est nécessaire en raison du réaménagement de certaines zones d'activités et d'habitation bordant la baie de Tokyo, mais aussi parce que la jeune génération choisit de plus en plus souvent d'habiter en centre-ville plutôt que dans des quartiers résidentiels de banlieue : ces évolutions urbaines devraient, selon les prévisions, générer un volume de trafic considérable. Le quatrième objectif est une conséquence de la mondialisation des marchés des affaires et du tourisme. Les pouvoirs publics accompagnent cette mondialisation en mettant en œuvre une politique qui prévoit notamment la déréglementation du marché du transport aérien et la promotion du tourisme au Japon. L'amélioration de l'accès ferroviaire aux aéroports et des trains à grande vitesse sont essentiels pour que l'activité des entreprises et le tourisme bénéficient de conditions plus propices. Enfin, le cinquième objectif tient compte du vieillissement rapide de la société japonaise. Il est largement admis que la participation des personnes âgées à la vie de la collectivité a un effet stimulant sur l'activité économique alors que l'on constate une tendance au dépeuplement, et la facilité d'accès aux services sociaux pourrait être l'un des facteurs d'amélioration de leur mobilité dans les zones urbaines. Ainsi, il est vivement recommandé d'installer de nouveaux dispositifs et de procéder à des mises à niveau dans les gares pour les voyageurs handicapés.

Le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain indique aussi une liste de projets d'expansion ferroviaire dont la construction ou l'étude de la faisabilité sont préconisés. La carte du réseau qui en résulterait est présentée au graphique 2. Les projets proposés entrent dans trois catégories : les liaisons A1 qui se prêtent à une mise en service dans l'année visée, les liaisons A2 qui se prêtent au lancement de l'expansion dans l'année visée et les liaisons B, dont le développement ou les études doivent être envisagés à l'avenir. Les projets ferroviaires sur les liaisons A1 sont considérés prioritaires sur tous les autres, d'où le soutien résolu dont ils bénéficient de la part des autorités. En ce qui concerne les projets de la catégorie A1, les parties prenantes sont parvenues ou presque à un consensus ; ces projets peuvent donc démarrer immédiatement après l'achèvement de la procédure officielle. Les projets ferroviaires sur les liaisons A2 sont jugés moyennement prioritaires, ce qui veut dire que

les autorités y sont favorables mais que leur lancement pourrait ne pas intervenir immédiatement pour certains motifs, notamment des difficultés techniques de construction ou des problèmes contractuels entre différentes entreprises. Les projets sur les liaisons B sont en général considérés importants du point de vue des objectifs des pouvoirs publics, mais ils ne satisfont peut-être pas à certaines conditions requises, notamment des critères de coûts-avantages ou de viabilité financière, et nécessitent donc la réalisation d'autres études de faisabilité. La longueur totale des projets proposés est de 658 km ; les liaisons A1, A2 et B représentent respectivement 288.0 km, 166.8 km, et 203.3 km.

Graphique 2. **Schéma directeur du réseau ferré urbain dans la région métropolitaine de Tokyo**



Source: Morichi et al. (2001)

3.3. Analyse de la demande de transport ferré et évaluation des projets dans le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo

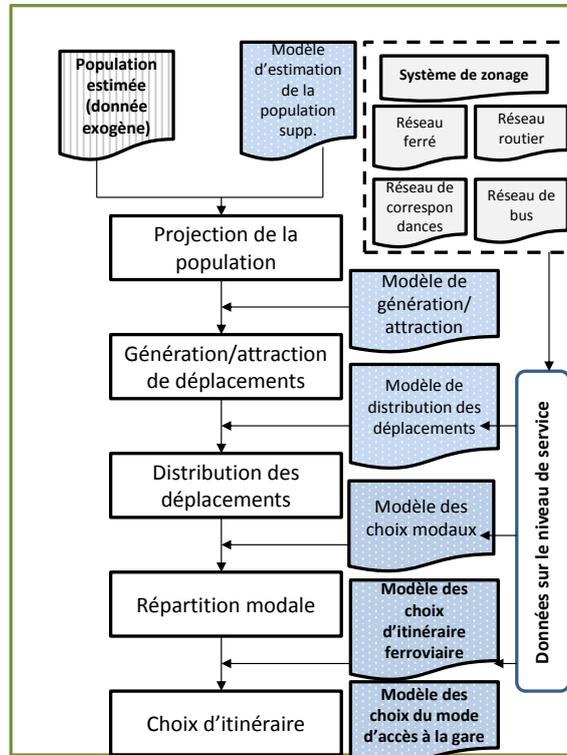
Le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo était issu d'un processus classique de planification des transports. La demande future de trafic sur les lignes ferrées proposées et le réseau correspondant était estimée par modélisation de la demande de déplacements, tandis que les projets proposés étaient évalués tant du point de vue économique que financier.

Depuis plus de 30 ans, les schémas directeurs successifs s'appuient sur la modélisation et les prévisions de la demande de transport ferroviaire. C'est en 1972 que l'on a intégré pour la première fois l'analyse mathématique de la demande de déplacements dans la planification du transport ferré urbain. En 1985, un modèle de la demande de déplacements à quatre étapes a été adopté pour analyser la demande de transport ferré. Pour les choix modaux et les choix d'itinéraire, les modèles utilisés étaient du type logit multinomial.

Dans le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo, le modèle de la demande de déplacements à quatre étapes a de nouveau été utilisé pour établir des prévisions de cette demande (graphique 3). Le modèle logit multinomial a été appliqué dans l'analyse des choix modaux, tandis que pour l'analyse des choix d'itinéraire on a utilisé une méthode de calcul de l'équilibre stochastique des usagers fondée sur un modèle probit. Le recours au modèle probit permet en effet de prendre en compte les points communs des itinéraires dans l'analyse des choix d'itinéraire ferroviaire. Un immense réseau ferré urbain très maillé était d'ores et déjà en place dans la métropole de Tokyo, c'est pourquoi, dans le souci d'éviter d'y consacrer un temps de calcul colossal, un modèle probit avec un terme d'erreur structuré (Yai et al., 1997), que nous appelons « modèle probit structuré », a été retenu. Les coefficients sont estimés avec la méthode de simulation qui utilise le simulateur récursif de Geweke, Hajivassiliou et Keane (GHK) (Geweke et al., 1994; Train, 2003). Kato et al. (2010a) ont également étudié les détails du modèle des choix d'itinéraire ferroviaire en milieu urbain à Tokyo.

Graphique 3. Système d'analyse de la demande de déplacements dans le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo

- Approche de modélisation à quatre étapes
 - Génération/attraction : modèle des taux de déplacements par catégorie socio-démographique ;
 - Distribution des déplacements : modèle de Frator en général ; un modèle gravitaire est en partie appliqué aux nouvelles zones d'aménagement ;
 - Répartition modale : modèle logit multinomial ; et
 - Choix d'itinéraire ferroviaire : modèle probit structuré
 - Choix du mode d'accès à la gare : modèle des parts en fonction de la distance, pour le bus et le vélo.
- Couverture géographique
 - Région métropolitaine de Tokyo (Tokyo, Kanagawa, Saitama, Chiba et sud des préfectures d'Ibaraki)
- Zones
 - 1,812 zones



Source: Auteur

L'approche classique d'analyse coûts-avantages a été utilisée pour l'évaluation des projets ferroviaires. Aux termes du Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo, les projets ferroviaires proposés doivent tous faire l'objet d'une analyse coûts-avantages. Après avoir défini les scénarios avec et sans projet, les avantages et les coûts du projet sont estimés sur la base de la demande de transport estimée en fonction des prévisions. Le scénario avec projet part de l'hypothèse d'un réseau et de services ferroviaires dans lesquels un nouveau service ferroviaire a été ajouté l'année visée, tandis que le scénario sans projet table sur un réseau et des services ferroviaires identiques l'année visée à ce qu'ils sont actuellement. Les avantages sont de trois types : pour l'utilisateur, pour le fournisseur et autres. Le bénéfice pour l'utilisateur est estimé en divisant l'utilité maximale attendue par l'utilité marginale du revenu, qui est égale au surplus (escompté) du consommateur. L'utilité maximale attendue est déduite de la fonction d'utilité (indirecte) dans la modélisation des choix d'itinéraire ferroviaire, estimée dans l'analyse de la demande de transport. Les avantages pour le fournisseur sont estimés sur la base des bénéfices attendus de la tarification des services ferroviaires, compte tenu des estimations de la demande. La réduction de l'impact environnemental représente l'essentiel des autres avantages. Les détails de l'analyse coûts-avantages suivent les instructions du Manuel d'ACA.

3.4. Valeurs des services ferroviaires estimées dans le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo

Les résultats de la modélisation des choix d'itinéraire ferroviaire qui figurent dans le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo peuvent servir d'exemple d'évaluation des services ferroviaires. Quatre modèles des choix d'itinéraires ferroviaires ont été estimés, pour les différents objectifs de déplacement — domicile-travail, domicile-établissement d'enseignement, privé ou professionnel — en utilisant un ensemble de données d'échantillon construit à partir des données de l'enquête de 1995 sur les transports métropolitains à Tokyo (ITPS, 1996). Les variables suivantes sont utilisées dans les fonctions d'utilité linéaires : le temps de trajet passé à bord du véhicule, les temps d'accès et de sortie, le temps d'accès (seulement pour les déplacements domicile-établissement d'enseignement), le temps de sortie (seulement pour les déplacements domicile-établissement d'enseignement), le temps de correspondances (temps d'attente compris), le coût du déplacement et l'indice d'encombrement des véhicules (seulement pour les déplacements domicile-travail et domicile-établissement d'enseignement). Par temps de correspondances, on entend le temps nécessaire pour passer d'un train à un autre, qui correspond en majeure partie au parcours à pied d'un quai à un autre dans une même gare ou station. L'indice d'encombrement des véhicules est défini par la formule suivante :

$$CI_{k,ij} = \sum_{pq} \delta_{k,ij,pq} \cdot T_{in-vehicle,k,ij,pq} \cdot \left(\frac{x_{pq}}{cap_{pq}} \right)^2 \quad (13)$$

où

$CI_{k,ij}$ est l'indice d'encombrement des véhicules sur un itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ;

$\delta_{k,ij,pq}$ est égal à 1 si la liaison entre p et q est intégrée à l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j , et égal à 0 dans le cas contraire ;

$T_{in-vehicle,k,ij,pq}$ est le temps de trajet à bord du véhicule sur la liaison entre p et q de l'itinéraire ferroviaire k allant de la zone i à la zone j ;

x_{pq} est le flux de circulation sur la liaison entre p et q ; et

cap_{pq} est la capacité de transport sur la liaison entre p et q .

Ainsi, par hypothèse, la fonction de l'encombrement des véhicules est une fonction quadratique du taux d'encombrement des véhicules. Les coefficients estimés du modèle des choix d'itinéraire ferroviaire sont présentés au tableau 5.

Tableau 5. Résultats estimatifs du modèle des choix d'itinéraire ferroviaire

	domicile-travail	domicile-établ. d'enseignement	privé	professionnel
Temps de trajet à bord du véhicule (min.)	-0.0943 (-8.1)	-0.0597 (-5.8)	-0.0494 (-2.9)	-0.0499 (-3.3)
Temps d'accès et de sortie (min.)	-0.127 (-11.7)		-0.0583 (-4.3)	-0.0599 (-5.8)
Temps d'accès (min.)		-0.0691 (-6.2)		
temps de sortie (min.)		-0.0603 (-5.7)		
Temps de correspondances, temps d'attente compris (min.)	-0.112 (-10.7)	-0.0793 (-8.7)	-0.0722 (-4.2)	-0.0687 (-4.5)
Coût du déplacement (JPY)	-0.00200 (-4.0)	-0.00388 (-7.1)	- 0.00233 (-3.0)	- 0.00103 (-1.6)
Indice d'encombrement des véhicules	-0.00869 (-3.3)	-0.00177 (-0.8)		
Ratio des deux variances	0.436 (2.7)	0.161 (1.4)	0.513 (1.2)	0.214 (1.1)
Log de vraisemblance	0.390	0.331	0.172	0.156
Nombre d'observations	1218	811	436	357

Source: Morichi et al. (2001)

Note: Les valeurs entre parenthèses sont des coefficients t de Student.

Les valeurs estimées et les multiplicateurs du temps de trajet passé à bord du véhicule, du temps d'accès/sortie, du temps d'accès, du temps de sortie, et du temps de correspondances (temps d'attente compris) sont présentées aux tableaux 6 et 7. Dans le tableau 6, les résultats sont exprimés en JPY et en USD. Le taux de change est celui de novembre 1995 car les données de l'enquête sur les transports métropolitains de cette année-là ont été recueillies à la fin de l'automne.

Tableau 6. **Valeurs des services ferroviaires estimées avec le modèle des choix d'itinéraire ferroviaire**

	domicile-travail	domicile-établ. d'enseignement	privé	professionnel
Temps à bord du véhicule	47.2 (0.46)	15.4 (0.15)	21.2 (0.21)	48.4 (0.48)
Temps d'accès et de sortie	63.5 (0.62)		25.0 (0.25)	58.2 (0.57)
Temps d'accès		17.8 (0.17)		
Temps de sortie		15.5 (0.15)		
Temps de correspondances (temps d'attente compris)	56.0 (0.55)	20.4 (0.20)	31.0 (0.30)	66.7 (0.65)

Note: les valeurs sont exprimées en JPY par min. (USD par min.) de novembre 1995, date à laquelle le taux de change était de 1 USD = 101.86 JPY.

Tableau 7. **Multiplicateurs estimés avec le modèle des choix d'itinéraire ferroviaire**

	domicile-travail	domicile-établ. d'enseignement	privé	professionnel
Temps d'accès et de sortie	1.35		1.18	1.20
Temps d'accès		1.16		
Temps de sortie		1.01		
Temps de correspondances (temps d'attente compris)	1.19	1.33	1.46	1.38

Le tableau 7 permet de constater que les multiplicateurs estimés de la valeur du temps de trajet passé à bord du véhicule qui se rapportent au temps d'accès/sortie varient entre 1.01 et 1.35, alors que ceux qui concernent le temps de correspondances se situent entre 1.19 et 1.46. Comparés aux données figurant dans le Manuel d'ACA, les multiplicateurs estimés sont compris dans la fourchette des multiplicateurs du temps de correspondances par type de correspondance présentés au tableau 4. Il est à noter que les multiplicateurs estimés pour le temps de correspondances dans le tableau 7 tiennent compte de ce temps ainsi que du temps d'attente.

Ensuite, un multiplicateur de l'encombrement des véhicules est calculé en appliquant les coefficients estimés dans les modèles des choix d'itinéraire ferroviaire. Aux fins du calcul, une seule liaison est prise pour hypothèse, même si l'indice d'encombrement des véhicules est généralement défini comme étant la somme des désutilités de l'encombrement des véhicules sur toutes les liaisons d'un itinéraire donné. Par conséquent, la formule qui permet de calculer le multiplicateur de l'encombrement des véhicules s'écrit comme suit

$$\alpha_{cong} = 1 + \frac{\hat{\gamma}}{\hat{\beta}} \left(\frac{x}{cap} \right)^2$$

où

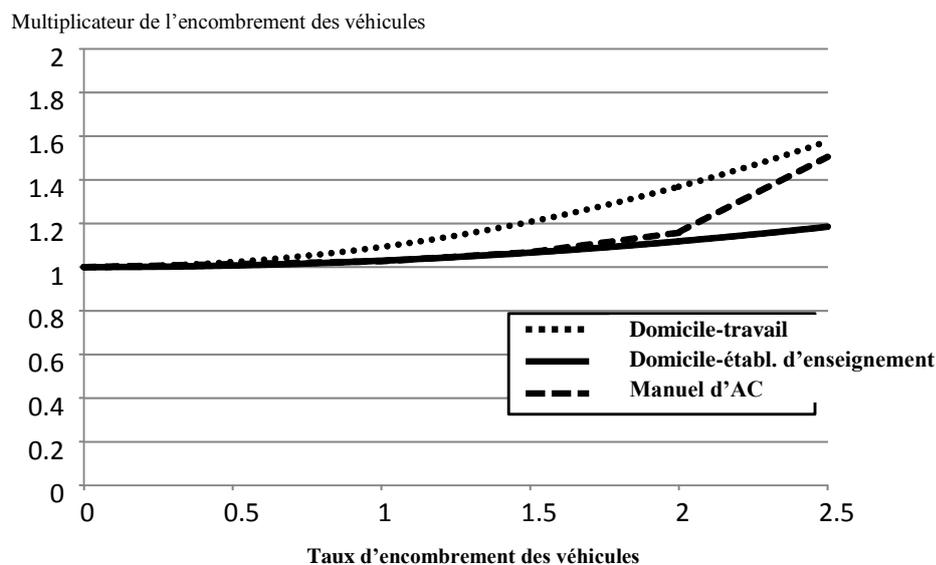
α_{cong} est le multiplicateur de l'encombrement des véhicules ;

$\hat{\gamma}$ est un coefficient estimé pour l'indice d'encombrement des véhicules ; et

$\hat{\beta}$ est un coefficient estimé pour le temps de trajet passé à bord du véhicule.

Les multiplicateurs de l'encombrement des véhicules sont représentés au graphique 4 en ce qui concerne les déplacements domicile-travail et domicile-établissement d'enseignement.

Graphique 4. **Résultats du calcul des multiplicateurs de l'encombrement des véhicules du Manuel d'ACA**



Le graphique 4 montre que le multiplicateur de l'encombrement des véhicules augmente jusqu'à atteindre environ 1.6 dans le cas des déplacements domicile-travail et environ 1.2 dans celui des déplacements domicile-établissement d'enseignement, à la différence du multiplicateur calculé avec la formule indiquée dans le Manuel d'ACA. Ce dernier est en effet pratiquement égal au multiplicateur applicable aux déplacements domicile-établissement scolaire lorsque le taux d'encombrement des véhicules est inférieur à 2, et il augmente fortement en se rapprochant du multiplicateur applicable aux déplacements domicile-travail à mesure que le taux d'encombrement des véhicules s'accroît au-delà de 2.

CONCLUSIONS

Ce rapport a décrit les pratiques récemment suivies au Japon en matière d'analyse coûts-avantages des projets d'investissement ferroviaire urbain, en s'intéressant particulièrement aux valeurs des services ferroviaires, et présenté des exemples d'évaluations des services ferroviaires fondées sur le Schéma directeur de 2000 pour le développement du transport ferré urbain à Tokyo.

Comme on le constate dans le Manuel d'analyse coûts-avantages (ACA) des projets ferroviaires, l'accent est mis depuis des années au Japon sur l'évaluation de l'encombrement des véhicules. Cela tient au grave problème de saturation des rames que connaissent les réseaux ferrés urbains dans les zones métropolitaines, notamment celle de Tokyo. Depuis de nombreuses années, le gouvernement national en tient compte aussi dans sa politique de développement ferroviaire ; il a par exemple explicitement fixé à 150 % au maximum l'objectif concernant l'encombrement des véhicules sur 31 tronçons ferroviaires importants à Tokyo. Cependant, le dernier examen effectué par les autorités constatait que le taux d'encombrement des véhicules atteignait 164 % en 2010 en dépit de la politique mise en œuvre (ITPS, 2013). L'une des causes en est la récession économique prolongée et les difficultés qu'elle entraîne, pour les exploitants ferroviaires privés, lorsqu'il s'agit de continuer à investir pour accroître la capacité de transport.

En outre, le Manuel d'ACA avait bien cerné l'importance de l'évaluation des correspondances, compte tenu de la tendance socio-démographique récente au vieillissement de la population au Japon. Qui plus est, depuis un certain nombre d'années, l'inclusion sociale des personnes handicapées prend de l'importance : la loi sur l'accessibilité adoptée en 2000 a rendu obligatoire l'installation d'ascenseurs et d'escaliers mécaniques dans les grandes gares ferroviaires. Selon l'examen effectué par les autorités, 77 % des gares dont la fréquentation quotidienne était égale ou supérieure à 5 000 voyageurs avaient été équipées d'installations d'accessibilité en 2010 (MLIT, 2011). Étant donné l'augmentation prévue du nombre d'usagers âgés dans la prochaine décennie, le gouvernement national a révisé cette loi en 2011 et défini un nouvel objectif : 100 % des gares ferroviaires où transitent 3 000 voyageurs ou plus par jour devront procéder à des aménagements d'accessibilité.

Pour renforcer l'action en faveur de l'amélioration du confort et de la sécurité dans les services de transports publics, le MLIT a créé en mars 2004 neuf « indicateurs de confort et de commodité des transports publics » ("*Indexes of Comfortable and Easeful Public Transportation*", ICE-PT) (MLIT, 2004) à l'intention des exploitants de transports urbains (ferré et autobus) des zones métropolitaines de Tokyo et d'Osaka (cf. tableau 8). Ce ministère procède à la collecte régulière de données statistiques auprès des exploitants de transports publics et porte ces indicateurs à la connaissance du public chaque année. Il vise ainsi à suivre les performances de ces exploitants à des fins d'évaluations comparatives qui lui permettent d'encourager les initiatives volontaires des prestataires privés de ces services.

D'autres aspects, concernant le contexte japonais en particulier, sont succinctement évoqués. En premier lieu, il convient de vérifier et de réviser à intervalles réguliers les paramètres et les multiplicateurs qui servent à évaluer les services ferroviaires. L'un des obstacles rencontrés à cet égard tient à la difficulté à laquelle se heurte la collecte de données depuis quelques années. Des enquêtes de grande ampleur sur les déplacements ont certes été effectuées périodiquement dans les régions métropolitaines du Japon, mais compte tenu des contraintes financières de l'État qui persistent depuis longtemps, l'existence du dispositif permettant de les réaliser risque d'être compromise à terme. Au lieu de recourir à une grande enquête de préférences révélées, il faudrait envisager la possibilité d'estimer les valeurs des services ferroviaires à partir d'une enquête de préférences déclarées. En outre, une enquête de préférences déclarées pour évaluer les services ferroviaires dans les pays membres de l'OCDE peut être propice au partage des compétences et de l'expérience acquises par le Japon.

Tableau 8. **Définition des neuf « indicateurs de confort et de commodité des transports publics » proposés par le MLIT, Japon**

Indicateur	Définition
1. Taux d'encombrement des véhicules en heure de pointe	Taux moyen horaire d'encombrement des véhicules dans les tronçons les plus chargés du réseau en heure de pointe
2. Pourcentage de gares avec des cheminements sans marches	Pourcentage de gares ferroviaires où transitent plus de 5 000 voyageurs/jour comportant des cheminements sans marches
3. Pourcentage de bus à plancher surbaissé	Pourcentage de véhicules du parc d'autobus équipés de plancher surbaissé
4. Indicateur de confort à l'intérieur des véhicules	Pourcentage de voitures ferroviaires dotées de climatisation hautes performances
5. Informations sur les quais concernant les services ferroviaires	Pourcentage de quais équipés de dispositifs à diodes lumineuses (LED) affichant l'horaire, la destination et d'autres renseignements sur le service
6. Informations dans les gares sur les services ferroviaires	Pourcentage de gares ferroviaires comportant des panneaux d'affichage et des systèmes d'annonce pour renseigner les usagers sur le type de service ferroviaire, la destination, etc.
7. Informations dans les véhicules sur les services ferroviaires	Pourcentage de véhicules ferroviaires équipés de panneaux d'affichage ou de dispositifs d'annonce pour renseigner les usagers sur l'arrêt suivant, etc.
8. Présence de personnel dans les gares	Pourcentage de quais où des agents sont affectés ou des dispositifs installés pour assurer la communication entre voyageurs et personnel ferroviaire
9. Présence de personnel dans les véhicules	Pourcentage de véhicules ferroviaires où des agents sont affectés ou des dispositifs installés pour assurer la communication entre voyageurs et personnel ferroviaire

Source: MLIT

Ensuite, il peut s'avérer nécessaire d'évaluer des catégories plus fines des services ferroviaires. Par exemple, les multiplicateurs de l'encombrement des véhicules ferroviaires peuvent différer selon le sous-groupe socio-démographique concerné, notamment selon que les usagers sont des personnes âgées ou des jeunes. Le Manuel d'ACA ne prend pas explicitement en considération ces différences, mais certaines études, comme celle de Kato et al. (2003b), contredisent l'analyse empirique. Étant donné le vieillissement rapide de la population prévu dans de nombreux pays membres de l'OCDE,

la recherche sur les multiplicateurs/paramètres devrait se poursuivre, et ces pays devraient en partager les résultats.

Enfin, il faudrait analyser la comparaison des valeurs des services ferroviaires avec celles des autres services de transport public, notamment d'autobus, d'autobus express, de transport interurbain et de transport aérien. L'évaluation du transport interurbain dans le contexte japonais a été remise en question par certaines études (par exemple, Kato et Onoda, 2009) ; or, bien que les services de bus jouent un rôle important dans de nombreuses villes, les valeurs qui s'y rattachent n'ont pas encore été bien analysées au Japon. Les données des évaluations des services de transport public effectuées dans d'autres pays membres de l'OCDE pourraient également enrichir la réflexion à cet égard au Japon.

REMERCIEMENTS

Certaines données figurant dans ce rapport sont reprises de documents utilisés par le comité chargé d'étudier les problèmes actuels et l'orientation future du développement ferroviaire dans la métropole de Tokyo. Les informations sur les indicateurs de confort et de commodité des transports publics (ICE-PT) ont été obligeamment communiquées par le MILT, dont les avis ont également été précieux. Je tiens à exprimer ma gratitude pour leur aide à M. Tomoharu Hase (MLIT), M. Kasuhiro Kishimoto (MLIT), M. Shinichiro Kato (Institute of Transport Policy Studies), M. Yoshihisa Yamashita (Creative Research and Planning Co.) et à M. Satoshi Seki (Tokyu Co.).

RÉFÉRENCES

Ben-Akiva, M. et Lerman, S. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge.

Geweke, J., Keane, M. et Runkle, D. (1994) Alternative computational approaches to inference in the multinomial probit model, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 76, No. 4, pp. 609–632.

Ieda, H. (1989) Evaluation of transport congestion in commuter railways and its applications, communication présentée au 5^{ème} Congrès mondial sur la recherche dans les transports, Yokohama (Japon), juillet 1989.

Institution of Transport Policy Studies (1996) *Final Report on Metropolitan Transport Census 1995*. (en japonais)

Institution of Transport Policy Studies (2000) *Final Report on Project Selection and Feasibility Analysis for Improvement of Rail-related Facilities*, Urban Railway Study in 1999 (General Study). (en japonais)

Institution of Transport Policy Studies (2008) *Final Report on Metropolitan Transport Survey 2005*. (en japonais)

Institution of Transport Policy Studies (2013) *Final Report of Research Committee on a Desirable Urban Railway System in the Tokyo Metropolitan Area*. (en japonais)

Kato, H., Kaneko, Y. et Inoue, S. (2003a) Measurement of transport investment benefit: Empirical comparisons between OD-based approach and route-based approach, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, pp. 2962–2971.

Kato, H., Shikai, J., Kato, S. et Ishida, H. (2003b) Cost-benefit analysis for improvement of transfer service at urban railway stations, *World Transport Research: Selected Proceedings*, 9^{ème} Congrès mondial sur la recherche dans les transports.

Kato, H. (2007) Variation of value of travel time savings over travel time in urban commuting: Theoretical and empirical analysis, *Transportation and Traffic Theory 2007: Papers Selected for Presentation at ISTTT17* (Allsop, R. E., Bell, M. G. H. et Heydecker, B. G., dir. de publ.), Elsevier, pp. 179–196.

Kato, H. et Onoda, K. (2009) An investigation of whether the value of travel time increases as individuals travel longer: A case study of modal choice of inter-urban travelers in Japan, *Transportation Research Record*, No. 2135, pp. 10–16.

Kato, H., Kaneko, Y. et Inoue, M. (2010a) Comparative analysis of transit assignment: Evidence from urban railway system in the Tokyo Metropolitan Area, *Transportation*, Vol. 37, No. 5, pp. 775–799.

Kato, H., Tanishita, M. et Matsuzaki, T. (2010b) Meta-analysis of value of travel time savings: Evidence from Japan, actes du 14^{ème} Congrès mondial sur la recherche dans les transports, CD-ROM, Lisbonne (Portugal), juillet 2010.

Kato, H., Sakashita, A., Tsuchiya, T., Oda, T. et Tanishita, M. (2011) Estimation of road user's value of travel time savings using large-scale household survey data from Japan, *Transportation Research Record*, No. 2231, pp. 85–92 .

Kato, H., Kaneko, Y. et Soyama, Y. (2012) Departure time choice of urban rail passenger under unreliable service: Evidence from Tokyo, Proceedings of the International Conference on Advanced Systems for Public Transport 2012 (CASPT 12), Santiago (Chili), juillet 2012.

Kidokoro, Y. (2004) Cost-benefit analysis for transport networks: Theory and application, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 3 8, No. 2, pp. 275–307.

Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (1998) *Cost-effective Analysis Manual of Railway Projects 1997*. (en japonais)

Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (2000) *Cost-effective Analysis Manual of Railway Projects 1999*. (en japonais)

Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (2004) *Study on the Improvement of "Comfort and Safety" in Public Transport: Introduction of the Index of Comfortable and Easeful Public Transportation (ICE)*. (en japonais)

Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (2005) *Cost-effective Analysis of Railway Projects Manual 2005* (en japonais).

Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (2009) *Technical Guidance of Cost-benefit Analysis for Public Project Evaluation*. (en japonais)

Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (2011) Partial revision of basic strategy on the promotion of smoothing travels, <http://www.mlit.go.jp/common/000141702.pdf>, dernière consultation en janvier 2014. (en japonais)

Ministère japonais de l'Aménagement du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (2012) *Cost-effective Analysis of Railway Projects Manual 2012*. (en japonais)

Morichi, S. (2000) *History and Future of Urban Rail System in the Tokyo Metropolitan Area*, Institution of Transport Policy Studies. (en japonais)

Morichi, S., Iwakura, S., Morishige, S., Itoh, M. et Hayasaki, S. (2001) Tokyo metropolitan rail network long-range plan for the 21st century. Communication présentée à la réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington D.C., janvier 2001.

Small, K. A. et Verhoef, E. T. (2007) *The Economics of Urban Transportation*, 2nd edition, Routledge.

Train, K. (2003) *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge University Press, Cambridge.

Williams, H. C. W. L. (1977) On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit, *Environment and Planning A*, Vol. 9, pp. 285–344.

Yai, T., Iwakura, S. et Morichi, S. (1997) Multinomial probit with structured covariance for route choice behaviour, *Transportation Research Part B*, Vol. 31, No. 3, pp. 195–208.

Yai, T., Nakagawa, T. et Ishitsuka, J. (1998) Estimation of the multinomial probit model with structured covariance using the simulation method, *Proceedings of JSCE*, No. 604, pp. 11–21. (en japonais)

International Transport Forum

2 rue André Pascal

75775 Paris Cedex 16

itf.contact@oecd.org

www.internationaltransportforum.org
