

APERÇU SUR LES MODÈLES DE RÉSEAU EN TRANSPORT DE MARCHANDISES*

Fei JIANG¹, Christian CALZADA

Les modèles de réseau de marchandises font partie de la famille des modèles d'équilibre spatial, ils visent à prédire simultanément la génération, la distribution, le partage modal et l'affectation sur un réseau, en intégrant au mieux les interactions entre les différents acteurs participant à l'équilibre.

La prise en compte des interactions entre acteurs

En raison de la complexité du système de transport de marchandises, il existe une profusion de recherches qui se sont essayées à développer des modèles de système de transports de marchandises en liaison avec l'économie générale et la prévision de l'usage des services de transports. Idéalement ce type de modèles doit pouvoir incorporer toutes les interactions entre les acteurs du système. Mais la tâche n'est pas facile.

Ces modèles d'équilibre général spatial, statiques, de tradition anglo-saxonne, concernent la prévision des comportements des agents : producteurs, consommateurs, chargeurs, transporteurs, et Etat.

Qu'est-ce qu'un modèle de réseau ?

Un modèle de réseau s'attache à décrire le système de transport comme un ensemble de noeuds et d'arcs schématisant le système d'infrastructures. Les noeuds représentent les équipements (terminaux, ports, gares de marchandises, etc...), les arcs symbolisent : les routes, les lignes de chemin de fer, les voies d'eau etc..., en général le coût de transport et le niveau de la qualité de service associée à chaque élément du réseau.

Il permet d'analyser conjointement les phénomènes de génération-distribution-affectation de trafics, ceci en prenant en compte l'ensemble des interactions entre les acteurs participants.

Dans un modèle de prévision de réseau de court terme, on fait l'hypothèse que l'équipement que constitue le réseau de transport ne changera pas. Dès lors il est très difficile d'appliquer ce type de modèles aux problèmes d'entrées/sorties d'entreprises du secteur, d'ajustements dynamiques, etc..., qui relèvent d'une approche de plus long terme.

Les modèles d'équilibre de réseau de marchandises : « FNE models »

La première catégorie de modèles de réseau utilisée pour la prévision du flux de marchandises en interurbain sont les modèles d'équilibre de réseaux de marchandises (acronyme de « Freight Network Equilibrium model (FNE) »). Ces modèles d'équilibre général se focalisent sur les interactions entre transporteurs et chargeurs, on suppose en général que la génération de flux de chaque région est connue.

* Ce premier article s'inscrit dans le cadre d'une réflexion à caractère méthodologique, sur l'état de l'art des modèles de transports de marchandises. Réflexion conduite au sein du groupe SAM (Système d'Analyse de Marchandises) et auquel participe le SES, à la fois en ce qui concerne la conception et l'analyse de Familles Logistiques et la construction d'un modèle de prévision de trafics non urbains de marchandises qui permette de mener des expertises ou contre-expertises de projets d'infrastructures nouvelles.

¹ M. Fei JIANG prépare actuellement une thèse dans le cadre du programme SAM, sous la direction de M. M. SAVY (ENPC/LATTS) en collaboration avec M. M. PAPINUTTI du DEST (INRETS) et M. C. CALZADA du DEE (DAEI/SES).

MODÈLES

Ainsi ce type de modèles ne réalise pas simultanément la prévision du comportement des chargeurs et des transporteurs mais utilise une approche séquentielle dans laquelle on établit d'abord la demande de transport des chargeurs qu'on introduit ensuite dans le réseau des transporteurs afin de minimiser le coût de chaque transporteur pris individuellement.

Acteurs concernés : Chargeurs - Transporteurs.

côté transporteur : $\text{Max} \sum_v [\text{REVENUS} - \text{COÛTS DE TRANSPORT}]$

Les revenus dépendent de la demande de transport des chargeurs.

côté chargeur : DEMANDE DE TRANSPORT = f (PRIX DE TRANSPORT)

Cette catégorie comprend :

- ♦ les modèles exclusifs chargeurs (CACI [1980], BRONZINI [1979, 1982] et ses dérivés, BRONZINI & SHERMAN [1983], FRIESZ, GOTTFRIED et MORLOK [1981] et GOTTFRIED [1983]),
- ♦ le modèle d'HARVARD-BROOKINGS, développé par ROBERTS [1966] et KRESGE et ROBERTS [1970] qui fût la première tentative d'un modèle FNE multimodal. Seuls les comportements des chargeurs étaient pris en compte. Il utilisait des coûts unitaires constants, chaque chargeur déterminant le plus court chemin entre OD. Les flux en tonnages entre OD étaient déterminés par un module de distribution classique.
- ♦ le modèle de réseaux de transport (« The transportation network model ») développé par CACI Inc [BRONZINI, 1980, 1982], modèle à demande fixe, sectoriel et multimodal. Le comportement des chargeurs était explicitement modélisé sans tenir compte de celui des transporteurs.
- ♦ le modèle d'affectation de trafic de fret ferroviaire (« The rail freight traffic assignment model ») [LANSLOWNE, 1981], s'intéressait aux problèmes des interfaces transporteur-chargeur et transporteur-transporteur. A partir de l'étude des pratiques courantes au sein de l'industrie, il définissait quatre principes de base servant à modéliser ces interactions.

Ces principes sont la première tentative d'explication des interfaces chargeur-transporteur et transporteur-transporteur.

Le modèle d'équilibre de réseau de marchandises (« The freight network equilibrium model (FNEM) »), développé par FRIESZ, GOTTFRIED et MORLOK, est le premier modèle qui introduit deux groupes d'agents : les chargeurs et les transporteurs au sein d'un modèle de prévision général de flux interurbain de trafic. FNEM est un modèle de type séquentiel, dont le premier module concerne les chargeurs, et dont les résultats sont mis en oeuvre ensuite dans les modules transporteurs. GOTTFRIED [1983] l'utilise à un niveau multimodal, national, et multisectoriel qui a donné des résultats meilleurs que toutes les approches précédentes.

TOBIN et al. [1983] a utilisé ce modèle dans le cadre du problème de la conversion de centrales électriques fonctionnant au pétrole en centrales charbon.

HARKER et FRIESZ [1982] ont reconnu les faiblesses de l'approche séquentielle utilisée dans les FNEM et ont proposé de recourir à une formulation qui tente de prendre en compte la simultanéité des prises de décision des chargeurs et des transporteurs. Bien qu'incapable de résoudre des problèmes de grande envergure, cette approche s'avère utile en vue de vérifier que l'approche séquentielle est incomplète.

MODÈLES

FRIESZ, VITON et TOBIN [1984], en supposant l'égalité entre prix de transport et coût marginal de transport entre paires d'OD, développent un modèle simultané dans les prolongements des modèles FNEM. Un algorithme spécifique a dans ce cadre été développé en vue de prouver l'existence d'une solution unique (point d'équilibre).

Les modèles d'équilibre de prix spatial : « SPE models »

Ces modèles se focalisent sur les interactions entre producteurs, consommateurs et chargeurs, les transporteurs sont absents de ce type de modèles. En lieu et place des transporteurs, on introduit une **fonction de coût** comme un élément de réseau permettant de représenter les entreprises de transport. En conséquence les modèles d'équilibre de prix spatial ne traitent pas explicitement du processus de décision des transporteurs.

Acteurs concernés : Chargeurs, Consommateurs, Producteurs.

- ◆ les chargeurs se comportent selon deux principes d'équilibre :
 - s'il existe un flux de marchandises entre une région i et une région j ,
⇒ **PRIX _{i} + COÛT DE TRANSPORT = PRIX _{j}**
 - si $\text{PRIX}_i + \text{coût de transport} > \text{PRIX}_j$,
⇒ **« Il n'y aura plus de flux entre i et j »**
- ◆ pour une région E l'équation suivante doit être satisfaite:

$$\text{OFFRE} - \text{DEMANDE} + \text{FLUX ENTRÉE} - \text{FLUX SORTIE} = 0$$

Ce type de modèles a été utilisé pour l'analyse des flux interrégionaux de marchandises. Citons SAMUELSON [1952] dont le modèle a été développé par TAKAYAMA et JUDGE [1964, 1970], FLORIA et LOS [1982] et FRIESZ, TOBIN, SMITH et HARKER [1983].

Les modèles d'équilibre de prix spatial généralisé : « GSPEM models »

Les modèles d'équilibre de prix spatial ont incorporé la génération de flux mais n'ont pas réussi à modéliser les interactions entre chargeurs et transporteurs. Parallèlement les modèles d'équilibre de réseau de marchandises peuvent explicitement modéliser ces interactions mais ne peuvent estimer la génération des flux.

A la suite de quoi, HARKER [1983, 1984, 1986, 1987] a développé un modèle de système de transport de marchandises en interurbain qualifié de modèle d'équilibre de prix spatial généralisé (« Generalized Spatial Price Equilibrium Model, (GSPEM) ») qui intègre l'ensemble des interactions entre agents. Cette formulation se base sur la conception de l'équilibre du prix spatial et en conséquence incorpore les comportements des producteurs, consommateurs et des chargeurs d'une part, d'autre part il inclut un sous modèle de comportements des transporteurs en vue de remplacer la fonction de coût de transport.

Cela signifie que les comportements de tous ces agents sont intégrés sous une forme mathématique unique. Ce modèle peut alors prévoir simultanément les prix et quantités de marchandises dans chaque région, les coûts de transports ainsi que les itinéraires des transporteurs.

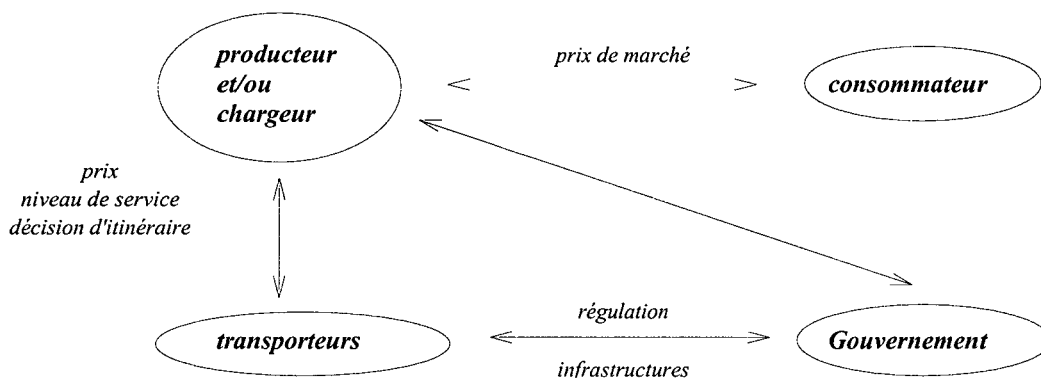
Les modèles GSPEM peuvent traiter simultanément tous les agents économiques, ils peuvent être utiles à la génération-distribution-affectation et au partage modal des flux de marchandises. HARKER [1983] a décrit l'application de ce modèle à l'analyse de l'économie du charbon aux Etats-Unis, il l'a aussi utilisé en vue de mesurer les impacts de l'augmentation du volume des exportations de charbon ainsi que de la fermeture de certains ports.

MODÈLES

Pour en savoir plus

- ↪ **J.C.J.M. van der Bergh, P. Nijkamp, P. Rietveld**, « *Spatial Equilibrium Models : A survey with special emphasis on transportation* », dans « *Recent advances in spatial equilibrium modelling, Methodology and applications* », Springer 1996.
- ↪ **P.T. Harker, T.L. Friesz**, « *Prediction of intercity freight flows, I : theory* ». *Transportation Research*, vol. 20B, N° 2, pp. 139-153, (1986).
- ↪ **P.T. Harker, T.L. Friesz**, « *Prediction of intercity freight flows, II : mathematical formulations* ». *Transportation Research*, vol. 20B, N° 2, pp. 155-173, (1986).
- ↪ **T.L. Friesz, R.L. Tobin, P.T. Harker**, « *Predictive intercity freight network models : the state of the art* », *Transportation Research*, vol. 17A, N° 6, (1983).
- ↪ **T.G. Crainic**, « *Intercity multimode freight transportation : the state of the art* », Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal, (1985).
- ↪ **M.S. Bronzini, D. Sherman** « *The rail carrier-route choice model* ». *Transportation Research*, vol. 17A, N°6, pp. 463-469, (1983).
- ↪ **T.L. Friesz, J. Gottfried, E.K. Morlok**, « *A freight network equilibrium model* », presented at the *Transportation Equilibrium and Supply Models Symposium*, Montreal, Quebec, November 1981.
- ↪ **T. Owaki**, « *Modal choice models in commodity transport and their application to trade theories* », Dissertation, University of Pennsylvania. U.M.I. dissertation information service, (1994).

Les agents concernés dans le mouvement des marchandises



Les producteurs, agents économiques dont le rôle est la production marchande de marchandises.

Les consommateurs, agents qui sont à l'origine de la demande de marchandises.

N.B.: le critère économique par lequel ces deux groupes d'agents communiquent entre eux est le prix des marchandises.

Les chargeurs ("shippers"), groupe d'agents économiques qui décident de la génération de flux depuis une origine et de la distribution de ces flux sur un ensemble de destinations et de l'ensemble des entreprises de transport qui transportent les marchandises de l'origine à la destination. Le chargeur est constitué d'un conglomérat de diverses entités décisionnelles, comme le département de la logistique de l'entreprise, le service de distribution, le service transit de marchandises, etc...

Un des rôles des chargeurs est de décider par quels modes de transport la marchandise sera transportée et ce sont les **transporteurs** ("carriers") qui en fourniront les moyens.