



# **BÉNÉFICES ÉCONOMIQUES ÉLARGIS DU SECTEUR DES TRANSPORTS**

**INSTRUMENTS D'INVESTISSEMENT ET D'ÉVALUATION  
MACRO-, MÉSO- ET MICRO-ÉCONOMIQUES**

**T A B L E  
R O N D E**

---

**140**





# **BÉNÉFICES ÉCONOMIQUES ÉLARGIS DU SECTEUR DES TRANSPORTS**

**INSTRUMENTS D'INVESTISSEMENT ET D'ÉVALUATION  
MACRO-, MÉSO- ET MICRO-ÉCONOMIQUES**

**T A B L E  
R O N D E**

---

**140**

# ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 30 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

*Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.*

Publié en anglais sous le titre :

**THE WIDER ECONOMIC BENEFITS OF TRANSPORT**

**MACRO-, MESO- AND MICRO-ECONOMIC TRANSPORT PLANNING AND INVESTMENT TOOLS**

Les corrigenda des publications de l'OCDE sont disponibles sur : [www.oecd.org/editions/corrigenda](http://www.oecd.org/editions/corrigenda).

© OCDE/FIT 2008

---

L'OCDE autorise à titre gracieux toute reproduction de cette publication à usage personnel, non commercial. L'autorisation de photocopier partie de cette publication à des fins publiques ou commerciales peut être obtenue du Copyright Clearance Center (CCC) [info@copyright.com](mailto:info@copyright.com) ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) [contact@cfcopies.com](mailto:contact@cfcopies.com). Dans tous ces cas, la notice de copyright et autres légendes concernant la propriété intellectuelle doivent être conservées dans leur forme d'origine. Toute demande pour usage public ou commercial de cette publication ou pour traduction doit être adressée à [rights@oecd.org](mailto:rights@oecd.org).

---

## FORUM INTERNATIONAL DES TRANSPORTS

Le Forum International des Transports est une institution intergouvernementale appartenant à la famille OCDE. Le Forum est une plate-forme mondiale pour les décideurs politiques et les parties intéressées. Son objectif est d'aider les responsables politiques et un public plus large à mieux appréhender le rôle des transports en tant qu'élément clé de la croissance économique, ainsi que leurs effets sur les composantes sociales et environnementales du développement durable. Le Forum organise une Conférence pour les Ministres et les représentants de la société civile chaque année au mois de mai à Leipzig, Allemagne.

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 ainsi que des instruments juridiques appropriés de l'OCDE. Son Secrétariat se trouve à Paris.

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

L'OCDE et le Forum International des Transports ont créé en 2004 un Centre conjoint de Recherche sur les Transports. Ce Centre mène des programmes coopératifs de recherche couvrant tous les modes de transport, recherches qui visent à aider la formulation des politiques dans les pays membres. A travers certains de ses travaux, le Centre apporte également des contributions aux activités du Forum International des Transports.



## TABLE DES MATIÈRES

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| SYNTHÈSE DE LA DISCUSSION..... | 7 |
|--------------------------------|---|

### RAPPORTS INTRODUCTIFS:

|   |            |
|---|------------|
| <b>Évolutions récentes de la recherche sur les avantages économiques généraux des investissements en infrastructures de transport - par Roger VICKERMAN (Canterbury, Royaume-Uni) .....</b> | <b>31</b>  |
| 1. Introduction .....   | 35         |
| 2. Objet des analyses en matière d'infrastructures.....   | 36         |
| 3. Évaluation des infrastructures au niveau macroéconomique .....   | 38         |
| 4. Évaluation des infrastructures au niveau du marché.....  | 43         |
| 5. Évaluation microéconomique des infrastructures .....   | 46         |
| 6. Conclusions et conséquences .....  | 48         |
| <b>Avantages économiques plus larges des transports - par T.R. LAKSHMANAN (États-Unis).....</b>   | <b>55</b>  |
| 1. Introduction et aperçu général.....  | 59         |
| 2. Modélisation macroéconomique des impacts économiques des infrastructures de transport.....   | 60         |
| 3. Enseignements de l'histoire économique.....  | 65         |
| 4. Avantages économiques plus larges des transports : Vue d'ensemble .....  | 67         |
| 5. Remarques de conclusion.....   | 70         |
| <b>Les avantages économiques au sens large des investissements dans les infrastructures de transport - par Jeffrey P. COHEN (États-Unis).....</b>   | <b>75</b>  |
| 1. Introduction.....  | 80         |
| 2. Justification .....  | 80         |
| 3. Contexte général .....   | 83         |
| 4. L'Économétrie spatiale.....  | 85         |
| 5. Applications .....   | 90         |
| 6. Conclusion et travaux futurs .....   | 95         |
| <b>Economies d'agglomération et investissements dans les transports - par Daniel J. GRAHAM (Royaume-Uni).....</b>   | <b>101</b> |
| 1. Introduction.....  | 106        |
| 2. Économies d'agglomération et investissements dans les transports.....  | 107        |
| 3. Estimer les économies d'agglomération .....  | 111        |
| 4. Résultats .....  | 114        |
| 5. Conclusions.....   | 118        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Infrastructures de transport intra- et interurbaines modèles et méthodes d'évaluation - par Börje JOHANSSON (Suède) .....</b>   | <b>127</b> |
| 1. Les réseaux et l'organisation spatiale des économies .....  | 132        |
| 2. Réseaux de transports et économies d'agglomération .....  | 135        |
| 3. Infrastructures de transport et nouvelle théorie de la croissance .....   | 138        |
| 4. Réseaux et accessibilité.....   | 143        |
| 5. Résultats empiriques d'études reposant sur l'accessibilité .....  | 150        |
| 6. Conclusions et remarques .....  | 157        |
| <br>   |            |
| <b>Avantages au sens large des infrastructures de transport - par Ian SUE WING, William P. ANDERSON et T.R. LAKSHMANAN (États-Unis) .....</b>  | <b>163</b> |
| 1. Introduction.....   | 168        |
| 2. Contexte : Effets économiques au sens large de l'investissement dans les infrastructures .....  | 169        |
| 3. Méthodes traditionnelles d'évaluation des effets.....   | 171        |
| 4. Compte-rendu des analyses d'équilibre général sur les encombrements .....   | 173        |
| 5. Une approche hybride méso-macro .....   | 177        |
| 6. Discussion et résumé.....   | 186        |
| <br>   |            |
| <b>Progrès et défis dans l'application de l'analyse économique à la politique des transports : <i>Remarques finales pour la table ronde sur la recherche en matière de programmation et d'outils d'évaluation des infrastructures</i> - par Glen E. WEISBROD et Brian Baird ALSTADT (États-Unis) .....</b> | <b>199</b> |
| 1. Tendances de la recherche et besoins de l'évaluation des politiques.....  | 204        |
| 2. Que signifient les effets « au sens large » ? .....   | 205        |
| 3. Classement des modèles économiques prédictifs en matière de transport.....  | 206        |
| 4. Conséquences de la recherche récente pour la modélisation .....   | 210        |
| 5. Améliorations méthodologiques nécessaires à l'évaluation des politiques .....   | 212        |
| <br>   |            |
| <b>LISTE DES PARTICIPANTS.....</b>   | <b>217</b> |

## SYNTHÈSE DE LA DISCUSSION



**ÉVALUATION DES EFFETS ÉCONOMIQUES DES INVESTISSEMENTS DANS LES  
INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT : CONCLUSIONS ET DÉFIS**



## SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| APERÇU SYNTHÉTIQUE .....  | 14 |
| 1. INTRODUCTION .....   | 15 |
| 2. ÉTUDES RÉCENTES DES EFFETS ÉCONOMIQUES AU SENS LARGE.....                                      | 15 |
| 2.1. Objet des débats.....  | 16 |
| 2.2. Analyses empiriques des effets au sens large .....   | 17 |
| 2.3. Cadres globaux de modélisation.....  | 19 |
| 2.4. Progrès et défis dans l'application de l'analyse économique à l'évaluation des projets ..... | 21 |
| 3. ÉVALUATION DES PROJETS DE TRANSPORT .....  | 22 |
| 4. ADAPTATION DU MODE D'ÉVALUATION AUX<br>INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT .....                      | 23 |
| NOTES.....  | 26 |
| BIBLIOGRAPHIE.....  | 27 |



## RÉSUMÉ

Le présent document fait la synthèse des rapports présentés et des discussions menées au cours de la Table Ronde sur les instruments de macro-, méso- et micro-planification des transports et d'évaluation qui s'est tenue à l'Université de Boston les 25 et 26 octobre 2007. Cette Table Ronde avait pour objet d'analyser comment les recherches récentes sur les impacts directs et les effets au sens large des investissements en infrastructures de transport peuvent aider à améliorer l'évaluation des projets de transport. L'importance potentielle des effets « au sens large » est manifeste, mais il est moins évident que leur quantification doive s'intégrer dans l'évaluation de tous les projets. L'accès en temps voulu aux résultats d'approches plus simples permet tout aussi bien d'améliorer la qualité de la prise de décision. Les effets au sens large pris en compte dans l'évaluation doivent être quantifiés selon des procédures cohérentes. La recherche à finalités politiques doit se focaliser sur ces procédures et ne pas viser à dégager des résultats généraux parce que ces résultats sont, dans la mesure où ils existent, tenus pour être dénués d'intérêt politique.

## APERÇU SYNTHÉTIQUE

La Table Ronde s'est appliquée à déterminer l'intérêt que l'analyse des impacts économiques au sens large des investissements en infrastructures de transport présente pour l'évaluation des projets. Ces avantages au sens large, qui échappent à l'analyse coûts-avantages classique, s'expriment en termes de rendement d'échelle, de rendement d'agglomération, d'épaississement du marché du travail, de puissance de marché et d'adaptation du comportement des entreprises et des ménages à l'évolution des coûts de transport.

L'analyse macroéconomique à la Aschauer de l'impact des investissements en infrastructures de transport donne à penser que les effets économiques au sens large de ces investissements sont modestes. Des études récentes plus désagrégées portant sur l'effet exercé par les investissements en infrastructures de transport sur les marchés, de l'emploi en particulier, locaux confirment non seulement qu'ils existent, mais aussi que leur signe et leur ampleur diffèrent considérablement d'un projet à l'autre. Comme il est donc impossible de transférer les résultats d'un projet à d'autres, il paraît peu probable qu'une méthode pratique et simple de prise en compte des effets au sens large dans l'évaluation des projets voie jamais le jour. Les lacunes accusées par les données nécessaires disponibles et les imperfections des cadres analytiques utilisables empêchent d'approfondir régulièrement l'analyse.

S'il est admis que les effets au sens large sont potentiellement importants, il faut se demander comment l'évaluation des projets d'infrastructures de transport peut gagner en qualité. Les manuels d'évaluation des projets de transport peuvent indiquer comment il conviendrait de compléter, d'une façon méthodologiquement cohérente, l'analyse coûts-avantages classique par une évaluation des effets au sens large. La recherche doit se focaliser sur la mise au point de cadres solides et pratiques plutôt que sur la quête de résultats applicables à grande échelle.

Il serait judicieux que la construction de ces cadres proportionne la portée de l'analyse à la taille du projet. Une analyse ambitieuse englobant les effets au sens large serait trop coûteuse et donnerait des résultats qui viendraient trop tard pour guider la décision dans le cas des petits projets pour lesquels il serait donc plus pratique de poser en hypothèse qu'ils ne génèrent pas d'avantages économiques au sens large. Il est certain que des coûts ou des avantages réels risquent ainsi de rester ignorés, mais la grande majorité des participants se sont accordés à dire que cet inconvénient est plus que contrebalancé par le fait que le risque de double comptage des avantages et d'allongement des délais d'évaluation des projets se trouve réduit à néant. Les analyses sophistiquées pourraient se justifier pour des grands projets ainsi que pour l'évaluation de programmes d'investissement, mais il est dans leur cas aussi utile de ne pas perdre de vue que des informations récoltées pendant les premières phases du processus décisionnel ont plus d'impact que celles qui se recueillent pendant des phases ultérieures, même si celles-ci s'appuient sur une analyse plus approfondie.

Il est possible aussi d'amplifier l'impact de l'évaluation économique en analysant mieux les impacts directs. L'analyse coûts-avantages classique prend ces impacts en compte, mais ne les fait pas toujours apparaître sous une forme aisément compréhensible par les responsables politiques. Les modèles économiques, notamment les modèles d'équilibre général appliqué, peuvent montrer comment des avantages directs sont transmis par des marchés et transférés entre des agents économiques tels que des entreprises et des ménages. Il pourrait être possible de compléter les indicateurs économiques généralement présentés dans des fiches d'évaluation de projets par une description des effets économiques que ces modèles imputent à un investissement.

## 1. INTRODUCTION

Le présent document fait la synthèse des rapports présentés et des discussions menées au cours de la Table Ronde, formule des conclusions là où la chose est possible et met les éventuelles divergences de vues en évidence. Il se divise en trois parties. La première, celle qui fait la synthèse des rapports et des discussions, donne un aperçu des avancées enregistrées, des perspectives ouvertes et des obstacles rencontrés par les chercheurs qui s'intéressent aux impacts économiques des investissements en infrastructures de transport. Il est apparu tout d'abord que les participants reconnaissent les progrès réalisés dans l'analyse des impacts généraux, mais doutent qu'ils sont transposables d'un projet à l'autre et pensent qu'il n'y a donc pas de « règles simples » de généralisation des résultats. En outre, l'analyse de routine est rendue difficile par le caractère lacunaire des données disponibles et les imperfections du cadre analytique. Cette question est analysée plus en détail dans le chapitre 2. Les participants se sont aussi préoccupés de l'hétérogénéité des méthodes d'évaluation des projets de transport appliquées dans les différents pays. L'impact de l'évaluation économique sur la prise de décision varie considérablement d'une région à l'autre et cette variabilité se répercute sur les modalités de prise en compte des effets économiques au sens large. Ces questions sont analysées dans le chapitre 3. Le chapitre 4 aborde, en s'appuyant sur les enseignements tirés des chapitres 2 et 3, le thème central de la Table Ronde pour tenter de déterminer comment, eu égard à l'état de la recherche et au mode actuel d'évaluation des projets de transport, il serait le cas échéant possible d'améliorer l'évaluation des projets d'infrastructures de transport. La grande majorité des participants sont tombés d'accord pour estimer nécessaire d'éviter les formule simples passe-partout qui feraient, par exemple, appel à des multiplicateurs pour couvrir les effets économiques au sens large et proposent plutôt d'élaborer un manuel d'évaluation des projets de transport qui recommanderait entre autres choses de compléter l'analyse coûts-avantages classique par une évaluation méthodologiquement cohérente des effets au sens large. Les chercheurs doivent se focaliser sur la mise au point de cadres pratiques solides plutôt que sur la quête de résultats applicables à grande échelle.

## 2. ÉTUDES RÉCENTES DES EFFETS ÉCONOMIQUES AU SENS LARGE

Le présent chapitre traite des principaux thèmes abordés dans les rapports et les débats. Il se coule dans le moule du programme de la Table Ronde tel qu'il est présenté dans l'encadré n°1.

### 2.1. Objet des débats

La Table Ronde avait pour objet premier de déterminer ce que les avancées de la recherche sur les avantages directs et les effets au sens large des investissements en infrastructures de transport peuvent apporter à l'évaluation des projets d'infrastructures de transport. Dans son allocution d'ouverture, T. R. Lakshmanan a esquissé les défis qu'il incombe aux chercheurs de relever. Les méthodes macroscopiques d'évaluation de l'impact exercé sur les capitaux publics en général et les infrastructures de transport en

**Encadré n° 1 Programme de la Table Ronde****Objet des débats (Section 2.1)**

Allocution d'ouverture : T. R. Lakshmanan  
 Présentation : Roger Vickerman  
 Animateur : Peter Mackie

**Étude empirique des avantages au sens large (Section 2.2)**

Présentation : Jeffrey Cohen  
 Animateur : Yossi Berechman  
 Présentation : Dan Graham  
 Animateur : Andrew Haughwout

**Cadres globaux de modélisation (Section 2.3)**

Présentation : Börge Johansson  
 Animateur : Ulrich Blum  
 Présentation : Ian Sue Wing  
 Animateur : Bruno De Borger

**Progrès et défis dans l'application de l'analyse économique à la politique des transports (Section 2.4)**

Présentation : Glen Weisbrod

particulier donnent des résultats très divergents. Il convient, pour comprendre cette divergence, de cerner les mécanismes qui génèrent les impacts économiques. Il est de même nécessaire de concevoir un cadre explicite englobant les liens qui existent entre les (modifications de la capacité des) infrastructures disponibles et les impacts économiques pour que l'analyse des effets au sens large apporte quelque chose à l'évaluation des projets. La raison en est que les méthodes macroscopiques n'ont pas de lien direct avec les leviers politiques qui occupent une position centrale dans l'analyse économique sur laquelle les décideurs s'appuient pour prendre position sur les projets de transport.

Plusieurs chercheurs s'appliquent à définir une approche plus microéconomique des effets des investissements en infrastructures de transport, mais leurs progrès sont inégaux en ce sens qu'ils ont réussi à mieux cerner la croissance des rendements d'échelle et les effets d'agglomération, mais se sont moins préoccupés de mieux pénétrer les effets dynamiques de l'innovation et de la diffusion des techniques.

Roger Vickerman s'est penché sur ces questions : il a réparti les études qui traitent des avantages économiques (au sens large) des investissements en infrastructures de transport en plusieurs catégories et cherché à établir si ces études aident à améliorer le processus décisionnel portant sur ces investissements. Ses conclusions peuvent se résumer comme suit.

- Les études macroéconomiques inspirées à la Aschauer se focalisent sur les impacts globaux. Elles pâtissent souvent de problèmes méthodologiques, en ce sens notamment qu'elles peinent à établir l'orientation des liens de causalité, et se fondent sur une image trop insuffisamment détaillée des infrastructures de transport pour pouvoir étayer directement une évaluation des projets<sup>1</sup>. Elles ne permettent en outre pas, comme Peter Mackie le souligne, d'établir si l'évaluation des avantages

économiques des infrastructures englobe les avantages **au sens large** (c'est-à-dire les avantages laissés dans l'ombre par l'analyse coûts-avantages classique qui se limite aux effets exercés sur les marchés de transport) ou si elle porte sur l'**incidence** ultime **des effets directs** (soit l'allocation d'équilibre sur laquelle un projet déboucherait si les effets au sens large n'étaient pas pris en compte) <sup>2</sup>.

- Beaucoup d'études ont été réalisées au niveau méso-économique, c'est-à-dire au niveau où les interactions entre le marché des transports et d'autres marchés deviennent explicites<sup>3</sup>. Certaines contributions, dont le cadre d'équilibre général proposé par Sue Wing *et al.*, servent principalement à expliquer comment les modifications des coûts de transport perçues par les usagers des réseaux se traduisent en coûts et avantages pour divers agents économiques (tels que les ménages et les entreprises) et comment ces coûts et avantages se distribuent. Comme les modèles d'équilibre général classiques posent normalement en hypothèse que les rendements d'échelle sont constants et que la concurrence est parfaite, cette approche ne fait pas la lumière sur les avantages au sens large générés par l'augmentation des rendements d'échelle et d'agglomération, sur la densification du marché du travail, sur l'affaiblissement des positions dominantes ou sur l'effet limitatif exercé par la puissance de marché sur les avantages générés par l'amélioration des infrastructures. Ces avantages au sens large sont analysés dans des études plus pointues dont celle de Dan Graham est un exemple.
- Les études microscopiques, qui visent à cerner l'incidence des modifications des conditions de transport sur la réorganisation interne des entreprises et des ménages, sont rares. Cela n'a rien d'étonnant parce que ces types de réaction sont difficiles à intégrer dans des cadres microéconomiques qui se focalisent sur les interactions observables sur le marché, mais c'est aussi dommage parce qu'il est avéré que les ménages et les entreprises se réorganisent en réponse à des stimuli tels que l'instauration d'un péage de congestion à Londres ou la mise en service de lignes de chemin de fer à grande vitesse en Europe occidentale.
- Les études *ex post* sont tout aussi rares. Les conclusions de celles qui ont été réalisées n'attribuent pas de façon péremptoire des avantages économiques au sens large aux investissements en infrastructures de transport.

En résumé, les études récentes donnent à penser que l'évaluation des projets doit, si elle veut transcender l'analyse coûts-avantages classique et s'étendre aux effets économiques au sens large, faire la distinction entre les avantages directs des usagers et les effets exercés sur la productivité, l'agglomération, la concurrence et le marché du travail. En outre, il faut s'attendre à ce que l'évaluation diffère selon les niveaux de pouvoir quand les débordements spatiaux sont importants (quelle qu'en soit la nature : avantages au sens large ou avantages directs). La compréhension de ces débordements revêt donc une importance manifeste pour le processus décisionnel.

## 2.2. Analyses empiriques des effets au sens large

Les rapports de Jeffrey Cohen et Dan Graham dressent le bilan des études économétriques des débordements spatiaux et des effets d'agglomération. Ces études économétriques ont ceci de commun que les spécifications empiriques sont expressément motivées par un cadre microéconomique. Cette particularité est la bienvenue parce qu'elle fait apparaître clairement quelles interactions sont incluses dans l'analyse et quelles autres ne le sont pas, ce qui permet de débattre des résultats dans la transparence et la cohérence. Il est évident que la formulation d'hypothèses relatives aux comportements comporte le risque de voir ces hypothèses et, partant, les spécifications entachées d'erreurs. Ce problème a été illustré par les deux exemples suivants.

- L'évaluation des débordements spatiaux s'appuie sur l'hypothèse d'une minimisation des coûts et sur l'assimilation du transport à un intrant coûteux. La validité de cette hypothèse et de cette assimilation a été révoquée en doute.

- L'orientation présumée du lien de cause à effet revêt une importance déterminante. La plupart des études posent en hypothèse que la croissance est induite par les infrastructures, mais les infrastructures peuvent aussi, étant donné que les économies riches peuvent choisir de dépenser plus en infrastructures, suivre la croissance.

Il est nécessaire que ces limitations restent présentes à l'esprit dans l'interprétation des résultats, mais évident aussi qu'une analyse empirique requiert un cadre explicite pour arriver à exploiter les données de façon sensée et qu'un tel cadre contiendra toujours des hypothèses restrictives. Le peaufinage de la spécification, sur la base d'une meilleure compréhension théorique, donnera plus de robustesse aux résultats, tandis que l'utilisation de techniques statistiques plus souples pour résoudre le problème de résidu, par exemple celui que posent les formes non monotoniques d'autocorrélation spatiale, ajoutera à l'intérêt pratique de ces études économétriques.

Les études empiriques ouvrent, en dépit de leurs limitations méthodologiques, plusieurs perspectives intéressantes. Elles révèlent en premier lieu que les **débordements spatiaux** des investissements publics sont réels en ce sens que les coûts variables des entreprises établies dans une région dépendent des infrastructures accessibles dans les régions voisines. Ces débordements peuvent être importants, différent considérablement selon le mode de transport et sont fonction des situations locales. L'analyse de quelques applications a mis ces réalités en lumière. Une étude américaine (Cohen et Paul Morrison, 2004) constate que l'augmentation des investissements routiers d'un État fédéré fait légèrement diminuer les coûts variables dans les États voisins, tandis qu'une étude espagnole (Moreno *et al.*, 2004) constate des augmentations de coûts. Une étude des infrastructures portuaires américaines (Cohen et Monaco, 2007) arrive à la conclusion que le renforcement des installations portuaires d'un État fédéré va de pair avec une augmentation des coûts variables dans les États voisins. Pour ce qui est d'aéroports américains, les États d'où de nombreux vols partent vers des États richement dotés en installations aéroportuaires ont des coûts variables moins élevés.

Tous les participants conviennent que les informations relatives aux débordements spatiaux présentent un intérêt évident pour les décideurs, mais certains se sont demandés si le cadre utilisé convient pour l'évaluation de projets individuels. Ce scepticisme est motivé entre autres par les considérations suivantes.

- Rien n'explique de façon définitive, même si plusieurs hypothèses plausibles ont été avancées, la grande variabilité des résultats. Il est de ce fait impossible d'isoler l'impact des situations locales et cette impossibilité limite considérablement les possibilités de transfert des résultats d'un cas à un autre.
- La présence d'une autocorrélation spatiale substantielle dans de nombreuses études peut témoigner de l'étendue de notre ignorance étant donné que l'imposition d'une structure d'autocorrélation spatiale sur les erreurs est une technique statistique qui peut pallier une compréhension insuffisante des interactions économiques en cause ou un manque de données relatives à ces interactions.
- Les capitaux publics se mesurent en termes de (valeur des) équipements tandis que l'évaluation des projets s'intéresse aux modifications du (niveau physique du) stock d'infrastructures<sup>4</sup>.

L'étude empirique des **économies d'agglomération** révèle en second lieu qu'elles existent et qu'elles sont raisonnablement mesurables (dans, évidemment, certaines limites qui seront analysées dans les paragraphes qui suivent). La notion d'agglomération est rendue opérationnelle par définition d'un indice du volume d'activité économique auquel une entreprise peut avoir accès au lieu où elle est établie (« densité économique ou effective »). La densité effective est intégrée en tant qu'intrant dans une fonction de production (translogarithmique) ce qui permet d'estimer les économies d'agglomération. Les économies d'agglomération varient considérablement d'une branche d'activité à l'autre : une étude britannique conclut qu'elles sont assez faibles dans le secteur manufacturier (l'élasticité de la productivité par rapport à la densité effective y est de 0.08) et importantes dans le secteur des services (élasticité d'environ 0.22 pour les services aux entreprises et d'environ 0.24 dans le secteur de la banque, de la finance et des assurances).

L'accessibilité est manifestement tributaire, entre autres facteurs, de l'offre d'infrastructures de transport et il est par conséquent possible d'établir un lien empirique entre infrastructures et agglomération. L'exercice de ce type réalisé pour le projet CrossRail londonien a montré que les avantages (locaux) générés par ce projet augmentent d'environ 20 pour cent s'il est tenu compte des économies d'agglomération. Le même genre d'exercice réalisé pour un projet de subventionnement d'un service d'autocars dans le Sud du Yorkshire (au Royaume-Uni) majore les avantages directs de quelque 3 pour cent<sup>5</sup>.

D'aucuns se sont interrogés sur les interactions entre les effets d'agglomération et la congestion. Les économies d'agglomération peuvent être réduites à néant et être plus que contrebalancées par la congestion comme le démontre l'analyse d'un projet néerlandais qui conclut à l'existence d'« effets d'agglomération négatifs » (Oosterhaven et Broersma, 2007). Il est difficile, mais utile, de séparer empiriquement l'agglomération de la congestion (la question a déjà été étudiée, notamment par Graham en 2006). L'analyse des interactions entre agglomération, localisation et coûts de transport dans un contexte polycentrique montre qu'une baisse des coûts de transport peut inciter des entreprises à quitter le centre parce qu'elle réduit les avantages procurés par la densité. Bon nombre des études empiriques laissent toutefois le problème de la localisation dans l'ombre. Il a aussi été observé que la tarification de la congestion peut doper les économies d'agglomération, si elle parvient à affecter l'espace routier aux activités qui tirent le plus de profit de ces économies. Tel est d'ailleurs un des éléments du débat soulevé par la tarification dans la ville de New York. Il convient dans le même ordre d'idées de rappeler que le progrès technique influe sur l'arbitrage à opérer entre congestion et économies d'agglomération. L'amélioration des technologies de l'information peut ainsi émousser la propension des entreprises à s'établir à proximité d'autres entreprises ou de sources de main-d'œuvre (Blum et Dudley, 1999 et 2002).

Certains participants ont pensé, comme dans le cas des débordements spatiaux, que la modélisation des effets d'agglomération a trop de la « boîte noire » pour pouvoir jouer un rôle vraiment appréciable dans l'évaluation des projets et qu'il serait très utile de mieux comprendre, au niveau microéconomique, les mécanismes, à savoir les effets de production, la facilité de livraison et l'accès aux intrants, qui génèrent les avantages d'agglomération. Il existe toutefois aussi des économies de dispersion. Un réseau routier de qualité permet ainsi d'opérer en flux tendus. Les constructeurs automobiles en tirent avantage en dispersant leurs chaînes de montage pour échapper aux revendications salariales qui vont de pair avec la concentration de la production en un lieu unique. Le « dépeçage » de la boîte noire est un exercice difficile. Beaucoup de sources d'effets d'agglomération sont empiriquement équivalentes, pour autant du moins que les données disponibles permettent d'en juger, et l'identification économétrique de ces différentes sources bute sur des difficultés majeures.

Les participants sont convenus, enfin, que les études des débordements spatiaux donnent à penser que la circonspection s'impose dans l'estimation des effets locaux d'agglomération. Les chercheurs qui ont étudié la liaison Crossrail londonienne ont ainsi découvert des avantages d'agglomération qui majorent de quelque 20 pour cent les avantages identifiés par l'analyse coûts-avantages classique, mais la mesure dans laquelle ces avantages additionnels sont contrebalancés par des pertes enregistrées dans d'autres régions reste à déterminer.

### 2.3. Cadres globaux de modélisation

Börje Johansson et Ian Sue Wing ont présenté des cadres analytiques qui visent à inscrire l'analyse des effets économiques des modifications des infrastructures de transport dans un contexte plus large que celui des transports dans lequel l'analyse coûts-avantages classique se cantonne. L'approche de Johansson s'inspire des principes de l'économie spatiale qu'elle combine avec un modèle classique de choix discret de la mobilité. Quoique le cadre conceptuel s'écarte quelque peu du cadre microéconomique néoclassique statique qui sous-tend l'analyse coûts-avantages et ses extensions, il permet d'imaginer des stratégies empiriques qui visent à intégrer des effets économiques au sens large semblables à ceux qui ont été identifiés

dans les paragraphes qui précèdent (notamment des effets d'agglomération). L'étude de Sue Wing *et al.* s'appuie résolument sur les lois de l'économie néo-classique puisqu'elle complète une représentation en réseau de l'espace par un modèle d'équilibre général calculable classique. Dans sa forme actuelle, le modèle d'équilibre général vise à faire apparaître clairement les interactions entre les marchés. Il n'intègre pas les effets d'agglomération en tant que tels, mais il semble bien que de telles extensions ne posent pas de problème théorique particulier.

Johansson avance que les réseaux de transport donnent naissance à une structure spatiale et que cette structure spatiale particulière peut être porteuse d'économies d'échelle. Cette notion de structure spatiale s'articule essentiellement autour de celle de région urbaine fonctionnelle, une zone qui se définit par le fait que ses confins sont distants de plus ou moins une heure de route de son centre (ce qui implique que le temps et la distance ont de l'importance). Le cadre devient opérationnel dès qu'il intègre des mécanismes qui permettent de déterminer comment les (améliorations des) réseaux de transport génèrent l'accessibilité (ou l'améliorent). Les ménages veulent pouvoir accéder aux emplois, aux services et aux salaires (en tant qu'expression des opportunités économiques), tandis que les entreprises veulent pouvoir accéder à de la main-d'œuvre et à des compétences particulières et se trouvent mieux si la main-d'œuvre et les facteurs de production sont plus abondants (plus accessibles). Les études empiriques démontrent que les centres villes répondent principalement aux besoins d'accessibilité interne et que toutes les zones urbaines tirent avantage de l'accessibilité intrarégionale. Les études empiriques mettent l'accent sur le fait que l'infrastructure doit se mesurer sur la base de ses caractéristiques physiques plutôt que de sa valeur en capital et que les conclusions tirées de données de panel sont plus robustes que celles qui s'appuient uniquement sur des données transversales ou des séries chronologiques. Il est peut-être utile d'ajouter, bien que Johansson ne l'ait pas souligné, qu'une mesure de l'accessibilité fondée sur un modèle de choix discret permet de calculer l'incidence, sous forme de somme logarithmique, des modifications des réseaux de transport sur le bien-être.

Les participants se sont demandés s'il fallait faire de l'accessibilité un objectif ou un indicateur de la performance des réseaux. Beaucoup sont convenus que les mesures de la performance sont des variables intermédiaires et qu'elles ne doivent pas devenir des objectifs en soi. Une évaluation globale du bien-être est plus riche d'enseignements pour les décideurs qu'un simple indicateur de la performance. Il apparaît ainsi que l'accessibilité est certes importante quand les ménages habitent des gratte-ciels ou que la congestion routière disparaît quand les voitures sont interdites de circulation, mais aussi que le bien-être peut dans ces deux cas laisser à désirer. L'analyse minutieuse des impacts probables d'une modification des infrastructures n'en reste pas moins un préalable incontournable d'une analyse coûts-avantages de qualité.

Le modèle d'équilibre général présenté par Ian Sue Wing se situe au niveau méso dans la mesure où il met les interactions entre les différents marchés affectés par les modifications des infrastructures de transport en lumière. Il ne permet pas d'établir un rapport entre l'amélioration de l'infrastructure et le développement économique à long terme, ni de cerner d'autres « non linéarités » telles que les effets d'agglomération. Un certain nombre d'études traitent de l'incidence de diverses politiques des transports sur l'équilibre général. La plupart de ces études sont de nature essentiellement analytique et les chiffres qu'elles donnent se situent à un niveau trop élevé d'agrégation pour être directement exploitables dans une évaluation des projets. Le modèle de Sue Wing améliore les « modèles maquettes » existants des interactions entre l'état des transports et le marché des produits et des moyens de production en complétant une représentation détaillée des réseaux de transport par le modèle économique.

L'approche est intéressante pour trois raisons au moins. La première réside dans le fait qu'elle montre comment l'amélioration de l'infrastructure se diffuse dans les marchés et que la répartition des coûts et avantages entre les agents économiques mise en lumière par l'allocation finale d'équilibre est une information utile pour les responsables politiques. La seconde tient au fait que la représentation particulière du réseau

permet, contrairement aux modèles d'équilibre général spatial existants, d'étudier l'impact d'améliorations localisées du réseau sur l'ensemble de l'économie, ce qui est utile parce que cela correspond à la nature de beaucoup de projets d'infrastructures de transport. La troisième est d'ordre méthodologique en ce sens que le cadre peut être utilisé pour analyser l'impact de l'agrégation spatiale sur les résultats de l'exercice de modélisation. La question est notoirement importante, puisque ces résultats dépendent du niveau d'agrégation, mais est encore mal comprise. Il reste aussi à voir si la mise en œuvre pratique d'un tel cadre est suffisamment facile et fiable pour servir régulièrement d'appui aux décideurs. En d'autres termes, il n'est pas possible de savoir si le modèle d'équilibre général pourra passer du stade de l'outil de recherche à celui d'aide routinière à la définition de la politique des transports.

## 2.4. Progrès et défis dans l'application de l'analyse économique à l'évaluation des projets

Glen Weisbrod a identifié, en s'intéressant plus particulièrement à l'intégration de l'analyse économique dans le processus de prise de décision dans le domaine des transports, les thèmes et les messages communs à l'ensemble des rapports et des débats. Une de ses conclusions principales est que la recherche sur les avantages économiques au sens large est loin de répondre parfaitement aux besoins des responsables politiques. Le niveau auquel les effets sont mesurés et les outils qui sont utilisés témoignent, avec le manque de répliquabilité et de transférabilité qui leur est associé, d'un engagement dans le sens de la recherche pure, une recherche qui n'a pas de lien direct avec les moyens d'action dont les décideurs disposent. Cette inadéquation ne va pas sans certains risques. Il est en effet à craindre, d'abord, que la recherche soit utilisée de façon captieuse quand elle est extraite de son contexte et, ensuite, que certains groupes d'intérêts, appartenant notamment au monde des affaires, n'en viennent à se détourner d'une évaluation économique qui ignore les questions qui les préoccupent le plus.

Au nombre de ces questions se range notamment celle de l'impact, mesuré en termes d'accès au marché, de connectivité et de fiabilité, que l'infrastructure exerce sur la productivité et la compétitivité. Il ressort des différents rapports présentés que les études consacrées à cette question, ainsi qu'à d'autres, donnent clairement à penser que l'analyse coûts-avantages classique passe par-dessus beaucoup d'effets auxquels divers groupes d'intérêts et les décideurs politiques sont très attentifs. La recherche ne fournit cependant pas d'outils utilisables pour les intégrer dans une évaluation des projets. Elle ne s'intéresse ainsi pas aux processus microéconomiques internes aux entreprises et à leurs rapports aux infrastructures de transport. Par contre, les études réalisées par les entreprises se présentent sous la forme d'études de cas qui s'intéressent de très près aux effets au sens large, en l'occurrence l'impact de l'infrastructure sur l'accès au marché, la connectivité et la fiabilité, et qui visent à identifier les effets non linéaires et les effets de seuil des dimensions du marché.

Le goût amer que les méthodes actuelles d'évaluation des projets de transport laisse à tout le moins certains utilisateurs pose problème, mais n'a aussi rien pour surprendre. Le monde des chercheurs a conscience de nombreuses insuffisances, et notamment du fait que l'analyse coûts-avantages classique passe à côté d'effets au sens large notoirement réels et potentiellement importants. L'évaluation de certains, mais certains seulement, de ces effets au sens large peut être intégrée dans le cadre statique qui sous-tend l'analyse coûts-avantages. Il n'existe toutefois pas de règles générales et solides d'évaluation rapide des projets. Les participants ont à cet égard mis en garde contre les tentatives de généralisation des conclusions tirées d'études de cas ciblées. L'évaluation économique des projets a ceci de caractéristique qu'elle applique de façon cohérente une méthodologie cohérente. La recherche peut concevoir un tel cadre et prendre en compte tous les impacts directs ou indirects si les données et les outils nécessaires à leur quantification sont disponibles. Ceci veut dire que l'évaluation des projets ne peut, et ne doit d'ailleurs pas, être adaptée aux attentes des groupes d'intérêt ou des politiciens et qu'elle n'est au contraire qu'un maillon imparfait d'un processus décisionnel tout aussi imparfait. Le chapitre 4 s'étend plus longuement sur les méthodes d'évaluation des projets.

### 3. ÉVALUATION DES PROJETS DE TRANSPORT

Le chapitre précédent a dressé un bilan des recherches sur les impacts économiques des infrastructures de transport et expliqué lesquels de ces impacts sont ou ne sont pas pris en compte dans les analyses coûts-avantages classiques. Plusieurs participants ont souligné qu'il fallait aussi chercher à améliorer le mode actuel d'évaluation des projets, parce qu'il faut bien admettre que telle qu'elle se pratique aujourd'hui, l'analyse coûts-avantages n'atteint pas à l'idéal.

Aux États-Unis, l'analyse coûts-avantages – en son sens d'évaluation économique du niveau global de bien-être – ne s'applique pas systématiquement aux projets d'investissement en infrastructures de transport. La plupart des analyses coûts-avantages réalisées portent sur des projets routiers en zone rurale<sup>6</sup>. Les avantages que ces projets génèrent en termes de sécurité l'emportent souvent sur ceux qui s'expriment sous la forme de gains de temps. Étant donné que le financement varie en règle générale en fonction du type de projet (pose de nouveaux revêtements, augmentation de la capacité, amélioration de la sécurité, etc.), l'analyse se focalise sur le rapport coût/efficacité. De même, quoique la loi impose l'établissement d'un dossier environnemental pour les investissements de transport financés par les pouvoirs publics, leur analyse économique s'effectue parfois dans ce contexte. Il arrive qu'une analyse coûts-avantages étoffe ce dossier. Comme ce dossier est établi avant la finalisation du projet, les coûts évoluent parfois, mais les analyses coûts-avantages sont rarement révisées quand des nouvelles informations relatives aux coûts deviennent disponibles (alors que la publication de nouvelles informations relatives à l'impact environnemental entraîne une mise à jour du dossier environnemental).

Le fait que les avantages nets globaux ne sont pas d'un intérêt majeur dans le processus décisionnel explique aussi selon certains (avec le recours au rapport coût/efficacité évoqué ci-dessus) cette relative pénurie d'analyses coûts-avantages. Les décideurs accordent en effet, et au contraire, beaucoup d'intérêt à l'impact redistributif d'un projet. La redistribution spatiale retient particulièrement l'attention, eu égard à la structure spatiale des circonscriptions électorales d'où viennent les hommes politiques. La question de savoir si la prise en compte de l'effet redistributif dans l'évaluation des projets (l'opération ne pose pas de problème de principe et les outils d'analyse nécessaires se multiplient) peut déboucher sur des applications plus larges a été laissée sans réponse. La pénurie peut également s'expliquer par la politique américaine d'affectation des moyens de financement à des zones géographiquement bien délimitées, même à l'intérieur des États fédérés, et à des fins clairement définies telles que l'entretien des routes, la lutte contre la congestion et l'amélioration de la sécurité, parce que cette politique enlève de sa justification à la réalisation systématique d'une analyse coûts-avantages pour tous les projets. D'aucuns se sont demandés si une analyse coûts-avantages imparfaite sert bien à quelque chose, mais d'autres ont aussi souligné que la fragmentation de l'analyse amplifie le risque de double comptage des avantages.

L'analyse coûts-avantages est plus systématique dans les pays d'Europe septentrionale, où elle n'est cependant aussi qu'un des chaînons du processus décisionnel. Au Royaume-Uni, où l'analyse coûts-avantages est tout à fait systématique, ses conclusions sont soumises aux décideurs sous forme résumée, en même temps que celles de l'étude d'impact sur l'environnement et de l'analyse multicritères, pour leur donner une idée de l'importance des facteurs qui ne sont pas faciles à monétiser. Une seule page suffit ainsi pour présenter les indicateurs financiers et environnementaux et établir le lien qui unit ces indicateurs et le projet dans son ensemble aux objectifs d'équité, et autres, poursuivis par les pouvoirs publics. Ce système se distingue par sa transparence, mais tend à exclure les décideurs politiques des débats auxquels l'évaluation économique donne lieu. Plusieurs participants ont souligné que l'étude d'impact sur l'environnement, traditionnelle aux

États-Unis, réussit beaucoup mieux à engager les décideurs politiques dans l'examen des aspects tant économiques qu'environnementaux des projets dès les premiers stades de leur élaboration.

Il apparaît aussi que dans les autres pays européens, l'analyse coûts-avantages s'effectue souvent pour la seule raison qu'elle est imposée par la loi et à un stade tellement avancé du processus décisionnel qu'il est permis de se demander si elle influe profondément sur ce processus.

La relégation des analyses coûts-avantages à l'arrière-plan du processus décisionnel pourrait s'expliquer par le manque de concordance entre les objectifs poursuivis par les décideurs politiques et les objectifs implicites de ces analyses (par exemple la maximisation du surplus)<sup>7</sup>. Les responsables politiques peuvent aspirer à densifier les villes, à doper l'emploi, à améliorer l'accessibilité ou à atteindre d'autres objectifs de ce genre. Ces objectifs intermédiaires ne sont pas nécessairement incompatibles avec la maximisation du surplus, mais les liens entre ces divers objectifs ne sont pas toujours évidents. Les participants ont proposé divers moyens de mieux aligner les analyses coûts-avantages sur ce qui intéresse les responsables politiques. Les chercheurs devraient, en premier lieu, s'appliquer davantage à affiner l'analyse des impacts des projets. L'analyse coûts-avantages devrait, en second lieu, transcender l'évaluation des impacts pour devenir un moyen d'éviter les erreurs graves, c'est-à-dire mettre en garde contre des projets générateurs de gaspillages majeurs de ressources, ce qu'elle a au demeurant assez bien réussi à faire. Les chercheurs pourraient, en troisième lieu, axer leur analyse sur les préoccupations des responsables politiques plutôt que sur leur propre programme de recherche. Il a toutefois été souligné à ce propos qu'il ne fallait pas pour autant renoncer aux principes de base de l'analyse coûts-avantages, c'est-à-dire les principes économiques du bien-être, parce que la connaissance de l'impact d'un projet sur l'efficacité et le surplus économique apporte une contribution précieuse au processus décisionnel. En d'autres termes, l'évaluation des projets peut fournir aux décideurs des informations sur les objectifs intermédiaires, mais elle doit aller plus loin et devenir une évaluation globale.

#### 4. ADAPTATION DU MODE D'ÉVALUATION AUX INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

L'analyse macroscopique des effets économiques des investissements en infrastructures de transport démontre qu'ils produisent certains avantages économiques au sens large d'importance mineure. Les effets au sens large diffèrent d'ampleur selon les projets et peuvent même être négatifs. Il convient aussi d'éviter les doubles comptages. Les ouvrages macroscopiques aident à démystifier la question de l'éviction, mais n'apportent directement rien à l'évaluation des projets. Les méthodes méso et microscopiques semblent prometteuses parce qu'elles montrent comment étoffer et améliorer l'analyse coûts-avantages. Il convient toutefois de se demander quelles peuvent être ces améliorations. Les participants à la Table Ronde ont pensé pouvoir répondre à cette question dans les termes suivants.

L'analyse coûts-avantages classique se focalise sur les effets directs des projets, c'est-à-dire qu'elle braque l'attention sur la seule évolution du surplus économique des utilisateurs des transports. La première question qui intéresse les responsables politiques est de savoir comment ces avantages directs générés par les transports se traduisent en avantages économiques (régionaux) ou, en termes plus crus, de savoir si les gains de temps se traduisent réellement en gains tangibles. Peter Mackie parle à ce propos, dans ses observations relatives au rapport de Roger Vickerman, de question « **d'alchimie** ». En l'absence d'avantages économiques au sens large, l'analyse coûts-avantages répond pleinement à la question, mais cette réponse ne se présente pas sous une forme aisément compréhensible par les responsables politiques. Les modèles économiques, notamment les modèles traditionnels d'équilibre général, peuvent montrer comment des avantages directs

sont transmis par des marchés et transférés entre des agents économiques tels que les entreprises et les ménages.

La seconde question qui tarabuste les responsables politiques est celle de « **l'additionnalité** », c'est-à-dire des effets économiques (avantages ou coûts) au sens large qui pourraient être attachés à un projet. Il est utile d'opérer une distinction entre les effets au sens large statiques et dynamiques. Les effets statiques, c'est-à-dire l'impact sur la productivité, les économies externes (augmentation des rendements d'échelle et d'agglomération et épaississement des marchés) et les déséconomies (congestion, etc.), peuvent en théorie facilement être pris en compte dans les analyses coûts-avantages classiques, mais ne le peuvent que plus difficilement dans la pratique, même si les choses progressent dans ce domaine. Les effets dynamiques se concrétisent par des adaptations à l'évolution des conditions de transport qui se situent au niveau microscopique, celui en l'occurrence des ménages ou des entreprises. Ils se traduisent par exemple par l'accession des conjoints à la possibilité d'accepter des emplois plus éloignés du domicile familial dont la localisation sera déterminée par des choix scolaires plutôt que par des offres d'emploi. Ces effets dynamiques ont sans contredit leur importance parce qu'ils affectent le bien-être économique, mais ils sont difficiles à intégrer dans le cadre statique de l'analyse coûts-avantages et les progrès accomplis dans ce domaine restent à ce jour assez minces.

Pour ce qui est des indications à donner aux responsables politiques au sujet de l'existence, ou inexistence, d'avantages économiques au sens large autres que ceux qui sont pris en compte dans l'analyse coûts-avantages classique, les participants sont arrivés à la conclusion que la circonspection est de mise en la matière. Les économistes comprennent aujourd'hui mieux ce que sont les avantages économiques au sens large, mais ce mieux ne l'est pas encore assez pour que ces avantages puissent être régulièrement pris en compte dans l'évaluation des projets. Cette situation s'explique par le fait que les données disponibles sont insuffisantes et de qualité déficiente, que l'orientation des liens de causalité reste mal comprise par la théorie et qu'il se pose des problèmes économétrique d'identification.

Eu égard à l'état d'avancement de la recherche sur les effets additionnels, il semble impossible de recommander l'intégration des impacts économiques au sens large dans l'évaluation régulière des projets. Il est certain que des coûts ou des avantages réels risquent de rester ignorés, mais la grande majorité des participants se sont accordés à dire que cet inconvénient est plus que contrebalancé par le fait que le risque de double comptage des avantages est réduit à néant. Les analyses sophistiquées englobant les impacts au sens large pourraient se justifier pour des grands projets, notamment pour l'évaluation de programmes d'investissement. L'intégration des effets au sens large dans l'évaluation de programmes complets revêt une importance particulière, parce que les interactions entre les différentes parties de ce programme risquent d'être minimisées (sinon totalement ignorées) dans une analyse coûts-avantages classique.

Il est clair que les avantages au sens large sont importants pour certains projets et que la compréhension opérationnelle de ces effets améliore les décisions relatives aux investissements en infrastructures de transport. Tout plaide donc en faveur de la poursuite de la recherche et du développement en matière de cadres empiriques et analytiques et, notamment, de modèles opérationnels d'équilibre général.

Les participants ont très sérieusement mis en garde contre l'adoption de règles « simples et rigoureuses », telles que le recours à des coefficients multiplicateurs, pour la prise en compte des avantages additionnels. Certains ont cité des exemples de projets dont les effets additionnels étaient négatifs du fait que les coûts de congestion l'emportaient sur les avantages d'agglomération (Elhorst *et al.*, 2004). L'analyse des études économétriques des effets d'agglomération et des débordements spatiaux a aussi révélé que les résultats varient fortement en fonction du contexte et qu'il ne faut donc pas compter sur leur transférabilité. La complexité n'est pas un objectif en soi, mais les chercheurs doivent quand même ne pas céder aux injonctions de responsables politiques en quête de règles générales, simples et transparentes de prise en compte des avantages économiques au sens large dans leur processus de prise de décisions parce que de telles règles sont inadéquates et risquent de donner des résultats hautement indésirables.

Pour faire avancer les choses, les chercheurs pourraient convenir d'un cadre pratique pour l'évaluation des projets, un cadre qui indiquerait par exemple quels sont les effets à prendre en compte et comment les mesurer et qui s'accompagnerait d'une typologie des projets indiquant jusqu'où l'analyse de chacun des types identifiés devrait aller<sup>8</sup>. Si ce cadre unique devait voir le jour, la complexité de la méthode pourrait être adaptée à la taille du projet : elle pourrait être assez simple pour les petits projets pour lesquels l'important est d'obtenir rapidement des résultats et plus sophistiquée pour les grands. Il est, dans le cas de ces grands projets, utile de ne pas perdre de vue que des informations récoltées pendant les premières phases du processus décisionnel ont plus d'impact que celles qui se recueillent pendant des phases ultérieures, même si celles-ci s'appuient sur une analyse plus approfondie.

La focalisation sur l'accès aux résultats des évaluations en temps opportun a ses inconvénients : des nouvelles informations peuvent émerger et, évidemment, influencer sur les résultats. Il est possible de résoudre ce problème en faisant de l'évaluation un processus continu relancé à chaque fois que des nouvelles informations deviennent disponibles. Par ailleurs, l'analyse *ex ante* peut aussi quantifier le risque en définissant plusieurs scénarios ainsi que leur degré de réalisabilité.

## NOTES

1. Il convient de souligner qu'au départ, Aschauer ne cherchait pas à apporter de l'eau au moulin de l'évaluation des projets, mais à déterminer si les investissements publics chassent les investissements privés.
2. Ce problème inhérent aux études macroéconomiques affecte aussi les études méso- et microéconomiques. Son importance sera mise en lumière dans de nombreux passages du présent document.
3. La définition du niveau méso-économique retenue dans le présent document diffère de celle de Vickerman dans la mesure où elle situe l'étude de l'équilibre général au niveau méso-économique plutôt que macroéconomique. La raison en est que les modèles d'équilibre général rendent les interactions explicites alors même qu'ils tendent vers des résultats agrégés. Cette vision des choses s'accorde également mieux avec l'optique méso-économique dans laquelle le rapport de Sue Wing *et al.* s'inscrit, mais ne modifie rien à la substance des raisonnements exposés.
4. D'aucuns ont souligné que sur le plan technique, la prise en compte des dimensions plutôt que des variations du stock peut aider à éluder les problèmes d'endogénéité.
5. L'analyse coûts-avantages de l'extension des aéroports du Sud-Est du Royaume-Uni ignore totalement ses avantages au sens large, parce que la base empirique sur laquelle leur quantification peut reposer fait défaut (rapport présenté et arguments développés par David Thompson du Ministère britannique des Transports au cours de l'Atelier sur la concurrence dans les marchés de transport qui s'est tenu à Mannheim, en Allemagne, le 25 novembre 2007).
6. Les projets de ce genre ont fait l'objet de nombreuses études *ex post* consultables notamment sur <http://www.fhwa.dot.gov/planning/econdev/> et <http://www.fhwa.dot.gov/hep10/corbor/border/laredo/fhwastatement.htm>
7. Au problème évoqué précédemment s'ajoute encore le fait que l'analyse économique se situe souvent à un niveau d'agrégation trop élevé et n'a donc pas de lien direct avec les instruments utilisables par les responsables politiques.
8. Les participants n'étaient pas tous convaincus de la nécessité d'un tel cadre unique. Certains ont ainsi plaidé pour l'utilisation de modèles partiels différents aux différents stades du processus de planification ou suggéré de limiter le rôle de l'analyste à la réalisation de l'analyse coûts-avantages classique pour laisser toutes les autres dimensions de la décision à la libre appréciation des hommes politiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- Blum, U. et L. Dudley, 1999, The Two Germanies: Information Technology and Economic Divergence, 1949-1989, *Journal of Institutional and Theoretical Economics* Vol. 155, No. 4 (710-737).
- Blum, U. et L. Dudley, 2002, Transport et développement économique *in* Transport et développement économique, *Conférence Européenne des Ministres des Transports* 1999, OCDE, Paris (51-79).
- Cohen, J.P., 2007, Les avantages économiques au sens large des investissements dans les infrastructures de transport, CCRT, rapport 07-13.
- Cohen, J.P. et Morrison Paul, C.J., 2004, Public Infrastructure Investment, Interstate Spatial Spillovers, and Manufacturing Costs, *Review of Economics and Statistics* 86: 551-560.
- Cohen, J.P. et K. Monaco, 2007, Ports and Highways Infrastructure: An Analysis of Intra- and Inter-state Spillovers, manuscrit.
- Elhorst, J.P., J. Oosterhaven et W.E. Rom, 2004, *Integral cost-benefit analysis of Maglev technology under market imperfections*. SOM Report 04C22, Université de Groningue (en cours de publication dans le *Journal of Transportation and Land-Use*).
- Graham, D.J., 2007, Économies d'agglomération et investissements dans les transports, CCRT, rapport 07-11.
- Johansson, B., 2007, Infrastructures de transport intra et interurbaines: modèles et méthodes d'évaluation, CCRT, rapport 07-12.
- Moreno, R., E. Lopez-Bazo, E. Vaya, M. Artis, 2004, External Effects and Costs of Production, Chapter 14 in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools, and Applications* (L. Anselin, 1981, R.J.G.M. Florax, and S.J. Rey, eds.), Berlin: Springer.
- Oosterhaven, J. et L. Broersma, 2007, Sector Structure and Cluster Economies: A Decomposition of Regional Labour Productivity. *Regional Studies* 41/5: 639-59.
- Sue Wing, I., W.P. Anderson et T.R. Laksmanan, 2007, Les avantages au sens large des infrastructures de transport, CCRT, rapport 07-10.
- Vickerman, R., 2007, Évolution récente de la recherche dans le domaine des avantages économiques au sens large des investissements dans les infrastructures de transport, CCRT, rapport 07-9.
- Weisbrod, Glen E. et Brian B. Alstadt, 2007, Progrès et défis dans l'application de l'analyse économique à la politique des transports: Remarques finales pour la Table Ronde sur la recherche en matière de programmation et d'outils d'évaluation des infrastructures, CCRT, rapport 07-14.



## RAPPORTS INTRODUCTIFS



**ÉVOLUTIONS RÉCENTES DE LA RECHERCHE SUR LES AVANTAGES  
ÉCONOMIQUES GÉNÉRAUX DES INVESTISSEMENTS EN INFRASTRUCTURES  
DE TRANSPORT**

**Roger VICKERMAN<sup>1</sup>**  
**Centre for European, Regional and Transport Economics**  
**University of Kent**  
**Canterbury**  
**Royaume-Uni**



## SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCTION .....   | 35 |
| 2. OBJET DES ANALYSES EN MATIÈRE D'INFRASTRUCTURES .....                          | 36 |
| 3. ÉVALUATION DES INFRASTRUCTURES AU NIVEAU<br>MACROÉCONOMIQUE <sup>2</sup> ..... | 38 |
| 3.1 Mesure.....   | 38 |
| 3.2 Production .....  | 39 |
| 3.3 Productivité .....  | 40 |
| 3.4 Emploi.....   | 40 |
| 3.5 Les différents modèles proposés .....   | 40 |
| 3.6 Modèles interactifs de transport et d'occupation des sols .....               | 41 |
| 3.7 Modèles calculables d'équilibre général .....                                 | 41 |
| 3.8 Analyses a posteriori .....   | 42 |
| 4. ÉVALUATION DES INFRASTRUCTURES AU NIVEAU DU MARCHÉ.....                        | 43 |
| 4.1 Effets sur la concurrence.....  | 44 |
| 4.2 Effets d'agglomération.....   | 44 |
| 4.3 Effets sur le marché du travail .....   | 45 |
| 4.4 Conséquences pour l'évaluation .....  | 45 |
| 5. ÉVALUATION MICROÉCONOMIQUE DES INFRASTRUCTURES .....                           | 46 |
| 5.1 Effets sur le marché du travail .....   | 46 |
| 5.2 Effets sur l'organisation de l'entreprise .....                               | 47 |
| 6. CONCLUSIONS ET CONSÉQUENCES .....  | 48 |
| NOTES.....  | 50 |
| RÉFÉRENCES .....  | 51 |

Canterbury, septembre 2007



## 1. INTRODUCTION

La question relative à l'existence d'avantages économiques généraux découlant des investissements en infrastructures de transport continue d'être discutée et reste matière à controverse. Cette réflexion est ouverte, tant parmi les analystes à la recherche d'une méthode sûre pour identifier et mesurer l'importance de ces avantages que parmi les responsables politiques en quête de motifs pour justifier ou contester la nécessité de certains investissements. Il est opportun de faire le point sur l'état d'avancement de la recherche d'une conception partagée de la contribution des infrastructures à l'économie en général qui soit cohérente avec les pratiques exemplaires en matière d'évaluation. Ce document examine les progrès réalisés et se propose de dégager des thèmes de discussion communs.

L'objectif principal consiste à réunir les différentes approches méthodologiques du problème, dont les divergences portent non seulement sur les détails de l'analyse, mais aussi, et surtout, sur l'échelle à laquelle l'analyse est réalisée. On estime qu'il est particulièrement important de comprendre comment les changements affectant la prestation de services de transport influent sur les décisions microéconomiques, notamment au sein des entreprises et des ménages, de saisir le fonctionnement des marchés et de modéliser les flux qui en résultent ainsi que leurs conséquences macroéconomiques.

On entend par avantages économiques généraux tous les avantages économiques qui ne sont pas englobés dans les avantages directs pour l'utilisateur, normalement examinés dans le cadre d'une analyse coûts-avantages des transports convenablement structurée après la prise en compte des coûts environnementaux et autres coûts externes directement imposés.

Ces effets sont habituellement considérés positifs mais, logiquement, ils peuvent aussi se révéler négatifs, ce qui signifie que les avantages directs pour l'utilisateur pourraient donner lieu à une surestimation de la valeur d'un projet. La méthode traditionnelle d'évaluation des transports part du principe qu'une analyse coûts-avantages convenablement définie prend en compte tous les effets économiques d'un investissement en infrastructures de transport, étant donné que les usagers seront enclins à payer la valeur économique exacte du transport. Toute tentative visant à ajouter des avantages économiques plus généraux représenterait par conséquent un double décompte. D'autre part, les travaux macroéconomiques ont mis en évidence de fortes relations positives entre le niveau agrégé des investissements en infrastructures et les résultats économiques tels qu'ils sont mesurés par le PIB, la croissance de la productivité ou l'emploi. Si une augmentation des investissements entraîne effectivement une croissance plus rapide, cet élément doit être identifié et inclus dans les prévisions sur l'évolution de la demande. Ces idées sont-elles cohérentes et, dans le cas contraire, est-il possible de les faire concorder ?

Deux questions principales peuvent être examinées pour réaliser un tel rapprochement. La première concerne les hypothèses relatives à la nature de la concurrence et aux rendements d'échelle. D'après cette possibilité, lorsque l'hypothèse classique de rendements d'échelle constants sur des marchés parfaitement concurrentiels est assouplie, il existe des effets d'agglomération qui génèrent des avantages plus généraux non pris en compte dans les avantages pour l'utilisateur. Selon la deuxième possibilité, le fait que de nombreux investissements à grande échelle soient de nature non marginale se traduit par des approches prévisionnelles classiques qui omettent de prendre en compte les changements intervenant dans le comportement des usagers des transports.

Ce document se propose d'explorer les liens entre ces diverses approches, afin d'identifier la relation entre les différents niveaux d'analyse, et ce, en vue de mettre au point un instrument pour parvenir à une approche plus synthétique capable de prendre en compte les pratiques exemplaires. Cependant, il convient de souligner que l'objet de toute analyse doit être clairement indiqué, afin d'éviter les incohérences entre l'évaluation des projets individuels et l'évaluation globale de l'action des pouvoirs publics en matière de réseaux.

Un bref examen des objectifs des analyses sur les infrastructures sera présenté et suivi par un récapitulatif des problèmes clés qui se dégagent des différents types d'études, et ce, afin d'identifier les points communs et les différences. Enfin, nous nous efforcerons de synthétiser les questions essentielles et d'identifier des priorités pour les travaux futurs.

## 2. OBJET DES ANALYSES EN MATIÈRE D'INFRASTRUCTURES

L'une des principales sources de confusion entre les différents types d'analyses portant sur les effets économiques généraux des infrastructures est représenté par le fait que ces différents types d'études visent clairement des objectifs différents. Il est nécessaire de les comprendre avant de tenter tout rapprochement entre les résultats ou d'essayer d'appliquer les résultats d'un certain type d'analyse à un cas différent. L'évaluation des investissements relatifs à une liaison individuelle au sein d'un réseau se place au niveau le plus bas. Au niveau supérieur vient la mise en relation des résultats macroéconomiques globaux avec l'ensemble des investissements en infrastructures et, par conséquent, avec le stock d'infrastructures. La difficulté est de savoir si une élasticité obtenue à partir de l'analyse macroéconomique est applicable, d'une manière ou d'une autre, à une décision d'investissement individuelle.

C'est durant l'évaluation des investissements que sont prises les décisions cruciales en matière d'infrastructures de transport. La plupart des décisions d'espèce concernent l'amélioration des liaisons. Au cours de l'histoire, ces améliorations ont été déterminées par des méthodes reposant presque exclusivement sur l'identification des avantages pour l'utilisateur – où prédominent nettement les aspects liés aux économies de temps pour l'utilisateur, à l'allègement de la congestion et à la réduction des accidents – mais prenant en compte également les impacts environnementaux. Cependant, les décisions en matière d'investissement fondées sur des analyses de type coûts-avantages dépendent largement de la précision de la mesure de la demande future, qui requiert à son tour une modélisation convenable des réactions des usagers face aux nouveaux investissements (voir Vickerman, 2007a, b pour une récente analyse en la matière). Ce problème est lié à l'abandon de l'hypothèse classique fondée sur des matrices de trajets fixes, où les nouveaux investissements en transports entraîneraient simplement une réaffectation du trafic au sein d'un réseau plutôt qu'une révision des modes de déplacements.

La prise en compte du trafic induit ou généré est une arme à double tranchant : la non-prise en compte de ce trafic peut entraîner une sorte de sous-investissement susceptible de se traduire par une augmentation plutôt que par une réduction de la congestion et, par conséquent, par des avantages globaux pour les usagers inférieurs à ceux estimés (voir Venables, 1999 pour un examen du fondement théorique du problème) ; la prise en compte de ce trafic peut aboutir au biais d'optimisme souvent utilisé pour justifier des projets qui, autrement, ne sembleraient pas produire suffisamment d'avantages pour les usagers (comme le démontrent Flyvbjerg *et al.*, 2003).

L'un des principaux problèmes dans l'exercice traditionnel d'évaluation des investissements réside dans le fait qu'il est considéré comme un exercice purement lié aux transports, qui ne fait aucun cas des interactions entre les transports et toutes les activités utilisatrices de transports. En d'autres termes, cet exercice ne tient compte ni de la situation du marché sur lequel évoluent les transports, ni de la façon dont il interagit avec les zones d'activité économique, les zones résidentielles, les lieux de travail, les sources des intrants, les marchés des produits, etc. C'est pourquoi une stratégie fondée sur les mécanismes du marché est essentielle pour comprendre comment un investissement particulier dans les transports peut présenter un intérêt pour des marchés spécifiques. L'approche théorique classique de l'évaluation s'appuie sur les observations bien connues de Dodgson (1973) et Jara-Diaz (1986) selon lesquelles, en partant de l'hypothèse que tous les autres marchés sont en situation de concurrence parfaite et que les prix sont égaux au coût marginal, les avantages pour l'utilisateur sont exactement égaux aux avantages totaux, car la valeur totale du transport pour tous les usagers est mesurée de façon exacte. Jara-Diaz a montré comment ces résultats étaient susceptibles de changer, si la situation de la concurrence dans les régions concernées par l'amélioration des transports évoluait, en indiquant que la solution la plus simple était cependant d'ignorer les problèmes liés à une concurrence imparfaite.

Cette solution pourrait ne pas se révéler irréaliste pour l'évaluation type d'une liaison au sein d'un réseau ne modifiant que de façon minimale l'accessibilité globale ; cependant, lorsqu'il est nécessaire d'évaluer un changement radical dans un réseau, voire de l'intégralité d'un réseau, le problème prend une autre dimension et la situation du marché ne saurait être ignorée. On a été tenté de rechercher des ajustements simples du résultat en termes d'avantages pour les usagers – un multiplicateur des avantages économiques généraux – susceptibles de permettre l'agrégation d'un ensemble d'avantages généraux non spécifiés. On pourrait envisager ce multiplicateur en relation avec la marge prix-coûts associée à une concurrence imparfaite : plus la concurrence est imparfaite, plus l'amélioration des transports favorise la concurrence et plus les avantages non pris en compte dans le cadre d'une simple évaluation des avantages pour l'utilisateur sont importants. Une telle approche doit tenir compte du fait que le niveau d'imperfection varie en fonction des secteurs de l'économie et que, dans certains cas, des services de transports médiocres peuvent se révéler une barrière commerciale utile pour protéger une région contre la concurrence plus agressive d'une autre région plus grande bénéficiant d'économies d'échelle plus importantes dans sa production. Dans ce genre de situations, l'amélioration des transports peut être positive dans l'ensemble, mais elle pourrait aussi coûter cher aux régions à titre individuel en termes de production et d'emploi. Cet aspect met clairement en exergue le besoin de définir soigneusement l'échelle géographique de la région concernée par l'amélioration des transports en la rapprochant des divers marchés territoriaux reposant sur ces transports.

Les économies d'échelle sont étroitement liées à une situation de concurrence imparfaite. L'existence d'économies d'échelle implique une plus forte concentration de l'activité économique, avec des répercussions évidentes sur le réseau de transports le plus efficace. Lorsque les économies d'échelle augmentent, les obstacles aux échanges posés par les coûts de transport peuvent être surmontés plus aisément, ce qui entraîne par conséquent une tendance à la concentration. Si les coûts de transport baissent en dessous d'un certain seuil, les avantages de la concentration pour l'activité individuelle peuvent diminuer et donner lieu à une dispersion. Cependant, l'interaction entre les activités n'est pas prise en compte, et ce sont justement ces forces d'agglomération qui tendent à dominer et à préserver la concentration. Dans ce cas, l'amélioration des transports ne favorise plus explicitement la concurrence. Les nouvelles conceptions géo-économiques de l'économie territoriale (voir par exemple Fujita *et al.*, 1999 ; Fujita et Thisse, 2002) ont examiné dans le détail le rôle du transport dans l'agglomération, et les conséquences pour l'évaluation des transports ont été étudiées par Venables et Gasiorek (1999). Les conséquences se vérifient à deux niveaux : premièrement, sur la façon dont le transport interrégional peut accélérer l'agglomération d'une région aux dépens d'une autre ; deuxièmement, sur la manière dont le transport intrarégional peut renforcer ce processus. La façon dont l'amélioration des transports pour les déplacements domicile-travail peut contribuer à contenir le coût unitaire réel de main-d'œuvre des entreprises tout en maintenant les écarts de salaires réels entre les employés en les encourageant à rester dans l'agglomération est l'illustration la plus claire de ce dernier aspect.

Les stratégies fondées sur les mécanismes du marché n'aident à comprendre l'impact du transport sur l'économie que jusqu'à une certaine limite, étant donné qu'elles fonctionnent sur la base des propensions et des élasticités moyennes, au même titre que les analyses macroéconomiques. Cependant, pour comprendre les conséquences réelles des nouveaux investissements dans les transports, il est nécessaire d'examiner comment ces changements ont une incidence effective sur les activités au niveau micro, à savoir celui des entreprises individuelles et des ménages. Il ne s'agit pas simplement du comportement des agents sur le marché où ils achètent, vendent, vivent et travaillent, mais de la façon dont leurs activités sont organisées à l'intérieur du marché. Il convient par conséquent d'étudier comment les entreprises réorganiseront leurs activités en fonction de la réduction des coûts de transport : vont-elles les concentrer dans un lieu unique ou vont-elles exploiter les lieux existants en attribuant à chacun une fonction spécialisée ? Dans le même esprit, s'agissant des ménages, chacun sera en mesure d'utiliser des services de transport améliorés pour élargir sa recherche sur le marché du travail ; en outre, différents membres du ménage pourront être adaptés à un plus large éventail d'offres d'emploi et permettre ainsi une réaffectation des activités entre les différents membres du ménage ou dans un lieu optimal.

Quel est le rapport avec la contribution globale du transport aux résultats macroéconomiques d'une économie ? S'agit-il d'une simple agrégation de l'impact des liens individuels ou d'un problème d'une dimension différente ? Deux éléments nous ramènent à la question fondamentale de savoir ce que nous voulons mesurer. Le premier élément est l'échelle géographique. Il n'est pas dit que toutes les améliorations des transports soient susceptibles de se traduire par un jeu à somme nulle pour les régions individuelles, mais la plupart produiront des effets de redistribution entre les régions, soit de façon relative, en profitant davantage à certaines régions plutôt qu'à d'autres, soit de manière absolue, avec des gagnants et des perdants (mais les gagnants pourraient faire contrepoids aux perdants, ce qui laisserait toujours un gain global). Le deuxième élément est le besoin d'examiner le mécanisme par lequel l'amélioration des transports est supposée fonctionner à travers l'économie. Une première stratégie consiste à la traiter simplement comme un ajustement au niveau des prix d'un intrant clé, entraînant des variations dans les prix relatifs des activités en fonction de leur teneur en transport, et de prendre en compte l'effet sur la concurrence – le transport étant simplement considéré dans ce cas comme une demande dérivée. Une deuxième approche consiste à considérer le transport comme un intrant capable de se substituer aux activités, de sorte qu'il se répercute sur la productivité totale des facteurs. Les approches fondées sur la fonction de production agrégée simple des infrastructures de transport ne parviennent pas à rendre clair le mécanisme pertinent, ce qui se traduit par certains problèmes d'interprétation des résultats de ces analyses.

### 3. ÉVALUATION DES INFRASTRUCTURES AU NIVEAU MACROÉCONOMIQUE<sup>2</sup>

On a beaucoup écrit sur l'évaluation macroéconomique des infrastructures en termes d'impact sur la productivité et la croissance, en recourant habituellement à certaines méthodes d'analyse de la fonction de production. Un nombre considérable de travaux empiriques ont été réalisés en vue de vérifier l'impact des infrastructures à l'échelon tant national que régional. Les principaux éléments qui s'en dégagent concernent les problèmes de mesure ainsi que la difficulté de parvenir à des conclusions définitives en matière d'impact.

#### 3.1. Mesure

Le premier problème que posent la plupart des analyses macroéconomiques tient au fait qu'elles reposent sur un concept très agrégé des infrastructures de transport et utilisent d'habitude simplement le volume des investissements ou le stock de capitaux d'infrastructures comme variables se répercutant

sur la production. Le problème associé à la mesure des infrastructures par leur valeur en capital est que la mesure des services fournis par ces infrastructures risque d'être nettement moins précise que celle de la valeur équivalente du capital privé. Il y a deux explications à ce phénomène : d'une part, les infrastructures présentent une forte spécificité des actifs (coût d'opportunité nul) ; d'autre part, elles ont beaucoup moins de chances d'être offertes dans une situation de marché libre où le prix payé est indicatif de la productivité marginale de l'actif. Pour cette raison, nombre d'analyses privilégient l'utilisation de mesures physiques des infrastructures telles que les kilomètres de voies (habituellement exprimés en densité par km<sup>2</sup> pour normaliser les différences dans la taille des régions ou des pays). On se rapproche dans ce cas de l'introduction d'une mesure plus claire du niveau de service offert par les infrastructures.

Le deuxième problème concerne l'objet de la mesure : la production, la productivité ou l'emploi. Il dépend, dans une certaine mesure, de l'objet de l'analyse. Les analyses portant sur le rôle des infrastructures dans la croissance ou la convergence s'appuieront sur des mesures de la production telles que le PIB ou le PIB par habitant. D'un point de vue technique, pour garantir la cohérence avec le modèle normal de croissance de Solow, les analyses sur la convergence devraient s'appuyer sur une mesure de la productivité du PIB par employé pour prendre en compte une situation ne correspondant pas au plein emploi. Pour des raisons politiques, les effets des infrastructures sur l'emploi ont évidemment suscité beaucoup d'intérêt, étant donné qu'il s'agit d'un moyen pour vendre à un électorat des projets coûteux financés par des fonds publics, contre la promesse de nouveaux emplois. Chacune de ces approches repose sur un processus de base différent en termes d'impact sur les infrastructures.

### 3.2. Production

Les modèles fondés sur la production supposent que les infrastructures fonctionnent essentiellement comme tout autre facteur de production ; les économies régionales dotées d'infrastructures plus nombreuses auront une production supérieure, mais la logique de cette thèse tend en fait à découler du contraire – c'est-à-dire que le manque d'infrastructures agit comme une contrainte sur la production. Les régions dotées d'infrastructures plus denses sont supposées disposer d'un système de transports plus efficace susceptible d'améliorer la productivité d'autres facteurs de production, notamment le capital privé, ce qui produit ainsi la « prime de croissance » sur laquelle s'appuie la théorie d'Aschauer (1989), dont les travaux ont suscité l'intérêt actuel pour le rôle des infrastructures<sup>3</sup>.

Le problème d'une telle approche est qu'elle ne tient pas du tout compte de la façon dont les infrastructures sont utilisées dans le cadre des activités au sein de l'économie concernée. Un volume d'infrastructures donné peut se révéler adapté ou inadapté aux besoins de l'économie, selon par exemple sa structure sectorielle ou la configuration physique de ses infrastructures. À l'évidence, dans une conception de la fonction de production reposant sur une demande purement agrégée, l'échelle des dépenses d'infrastructures aura une incidence sur la production et la croissance simplement à cause de leur ampleur. Étant donné que les dépenses de construction se répercutent rapidement et produisent habituellement un multiplicateur de l'emploi assez élevé, les investissements en infrastructures représentent un bon moyen pour relancer l'économie à court terme, pour autant qu'ils n'excluent pas d'autres investissements plus productifs. Les travaux d'Aschauer visaient justement à réfuter la thèse selon laquelle les dépenses d'infrastructures publiques constituent une utilisation moins efficace des fonds d'investissement disponibles que les dépenses de capital privé. Cependant, ces éléments sont peu utiles dans la planification ou l'évaluation des infrastructures et, comme le soutiennent nombre d'analyses réalisées par la suite, ils risquent de rendre plus complexe la relation de cause à effet. C'est en substance ce que fait observer Gramlich (1994) dans son exposé, qui met notamment l'accent sur l'importance d'identifier la spécificité d'infrastructures particulières.

### 3.3. Productivité

À la suite des travaux réalisés par Holtz-Eakin (1994) et Holtz-Eakin et Schwartz (1995), d'autres études se sont plus récemment penchées sur les débordements dans la productivité, d'un point de vue tant intersectoriel que territorial. L'aspect territorial n'est pas toujours ouvertement pris en compte, sauf dans le cas limité des comparaisons inter-États (pour un exemple, voir Pereira et Andraz, 2004), bien qu'il existe une étude plus détaillée à partir des données locales qui se rapproche davantage d'une observation des complémentarités de nature plus locale dans les évolutions des réseaux (Boarnet, 1998)<sup>4</sup>. La question de l'endogénéité des infrastructures et de la production totale porte à considérer les avances et les retards. À l'évidence, des retards peuvent se vérifier dans les deux sens : le temps nécessaire à l'augmentation de la production pour produire une demande capable de justifier de nouvelles infrastructures et le temps pour permettre d'ajuster les activités à un nouveau niveau de prestation de services de transport. Cependant, il est également possible de fournir une réponse de fond selon laquelle la promesse de nouvelles infrastructures importantes stimule les investissements, car les entreprises s'efforcent d'obtenir l'avantage de celle qui agit la première pour exploiter de nouvelles opportunités. Tout cela vient s'ajouter à la confusion économétrique potentielle, que même les techniques les plus sophistiquées ont des difficultés à résoudre.

### 3.4. Emploi

La possibilité d'utiliser des données sur l'emploi pose un problème légèrement différent. L'hypothèse de base est essentiellement fondée sur des coefficients fixes affectés aux facteurs de production, de sorte que l'impact sur l'emploi est directement lié à celui sur la production. Comme l'indique Jiwattanakulpaisarn (2007), l'incidence des infrastructures sur l'emploi n'est pas universellement positive (notamment lorsque les différents types de routes sont pris en compte), ce qui peut venir s'ajouter à d'autres éléments pour jeter certains doutes quant au bon sens des responsables politiques qui encouragent l'expansion des infrastructures. Le problème ici est que les infrastructures efficaces réduisant les coûts de transport induisent le remplacement de transports à meilleur marché par des intrants plus chers et moins mobiles. La terre est un facteur de remplacement évident – elle justifie l'économie sur les stocks offerte par les techniques de production en flux tendus – mais le travail, notamment le travail moins spécialisé, risque également de s'en ressentir, car il peut devenir moins mobile. En outre, l'amélioration des infrastructures fait augmenter la pression concurrentielle d'un travail plus mobile en provenance de l'extérieur de la région et susceptible de saisir l'occasion offerte par une augmentation du nombre d'emplois découlant de l'accroissement du niveau d'activité. Par conséquent, l'amélioration des infrastructures est positive pour l'économie locale en termes de croissance, mais négative du point de vue des perspectives d'emploi pour les résidents locaux (ou une partie d'entre eux). Ce phénomène renforce la nécessité d'examiner des modèles plus désagrégés prenant en compte les différences entre le type d'infrastructure, les secteurs et la structure de l'emploi.

### 3.5. Les différents modèles proposés

Les modèles économétriques entièrement agrégés n'ont pas été jugés appropriés dans ce cas et la plupart des travaux ont été réalisés à partir de modèles interactifs de transport et d'occupation des sols ou, plus récemment, de modèles spatiaux calculables d'équilibre général. Ces modèles peuvent saisir davantage d'effets territoriaux spécifiques des infrastructures, mais ils tendent à être limités par leurs besoins en données et/ou par la nécessité de s'appuyer sur des hypothèses extrêmement simplifiées concernant l'exploitation des différents marchés ou l'étendue territoriale des effets. Des évaluations préalables des aménagements de réseaux dans leur ensemble et des améliorations d'infrastructures spécifiques ont été réalisées dans le cadre de nombreuses analyses. Nombre de ces travaux faisaient partie de projets financés par l'Union Européenne et visant à examiner l'impact potentiel du développement des réseaux transeuropéens (RTE).

### 3.6. Modèles interactifs de transport et d'occupation des sols

Les modèles interactifs de transport et d'occupation des sols sont utilisés depuis quelque temps par les urbanistes comme modèles élargis de la demande de déplacements prenant en compte l'interaction entre transport et occupation des sols (Simmonds, 1999). Plus récemment, les modèles interactifs de transport et d'occupation des sols ont été étendus pour couvrir les effets régionaux et interrégionaux du développement des transports (Wegener et Bökemann, 1998 ; Bröcker *et al.*, 2004). Ces modèles varient dans leur mode de fonctionnement précis, mais ils comprennent essentiellement une série de modèles liés détaillés couvrant les déplacements/transports, la production et le PIB, les marchés de l'emploi, la population et l'aménagement du territoire. Le secteur des transports est le noyau central de ce modèle. Les changements en matière d'accessibilité qui produisent une variation des coûts de transport se répercutent tant sur la production que sur le marché du travail. Le secteur de la production est normalement structuré selon un ensemble de relations *input-output* qui déterminent le besoin de transports pour le déplacement de marchandises vers l'intérieur ou l'extérieur d'une zone territoriale définie. Il s'agit notamment du besoin du facteur travail, qui interagit avec la main-d'œuvre disponible (et, par conséquent, la population locale) pour déterminer les schémas de déplacement domicile-travail et de migration. L'occupation des sols agit comme une contrainte sur le développement de l'économie, car la production et la main-d'œuvre locale ont des besoins minimum en termes de territoire.

Le principal problème posé par les modèles interactifs de transport et d'occupation des sols découle de l'hypothèse implicite inscrite dans chacun de ces modèles constitutifs. Par conséquent, les modèles entrées-sorties ont souvent un caractère statique, car ils dépendent des schémas de comportements existants ; la solution consiste à veiller à ce qu'un équilibre soit atteint dans chaque marché pertinent. Dans le même ordre d'idées, les relations entre population, main-d'œuvre et demande de travail reposent sur l'hypothèse que les schémas de comportements existants ne changent pas ; or, les changements les plus importants survenant dans le réseau de transports indiquent que les comportements peuvent en réalité évoluer considérablement. De plus, les modèles reposent sur des hypothèses concernant les besoins d'aménagement du territoire qui ne permettent pas de modifier l'intensité capitaliste et l'intensité de main-d'œuvre et tendent à traiter les différents secteurs de manière uniforme. Les modèles interactifs de transport et d'occupation des sols partent du principe que les marchés sont en situation de concurrence parfaite, où les résultats se traduisent par une mesure valable de l'évolution du bien-être.

### 3.7. Modèles calculables d'équilibre général

Les modèles calculables d'équilibre général supposent aussi un équilibre, par nature, et sont fondés sur les relations *input-output* dans l'économie, mais ils tiennent compte, dans ce cas, d'une plus grande interaction entre les marchés constitutifs, afin d'atteindre un équilibre général entre tous les secteurs grâce à un processus d'itération numérique. La différence essentielle réside dans le fait que les modèles calculables d'équilibre général présentent la possibilité d'accepter comme principe le fait que les consommateurs affichent leurs préférences sur des marchandises différenciées produites par des entreprises dans une situation de concurrence imparfaite (Bröcker, 2000, 2004, Bröcker *et al.*, 2004). Grâce à cette utilisation de fonction d'utilité, les modèles calculables d'équilibre général permettent de procéder à une estimation directe des effets sur le bien-être découlant d'un changement.

Le modèle de Bröcker CG-Europe produit trois résultats importants. Premièrement, bien que le développement des RTE ait entraîné des changements considérables dans les coûts de transport et l'accessibilité, les répercussions sur le bien-être sont relativement modestes (elles correspondent normalement à moins de 2 pour cent du PIB régional). Deuxièmement, les réseaux dans leur ensemble ont des incidences positives sur certaines régions et négatives sur d'autres. Troisièmement, les investissements spécifiques produisent des effets dissymétriques tant sur les régions spécifiques qu'ils couvrent que sur la valeur ajoutée qu'ils apportent à l'ensemble de l'économie européenne.

Les mises en œuvre de projets plus spécifiques comprennent notamment une évaluation des effets régionaux des aménagements de routes au Japon (Miyagi, 1998, 2001) et une évaluation de l'impact d'une liaison ferroviaire à grande vitesse entre la Randstad et le Nord des Pays-Bas (Oosterhaven et Elhorst, 2003 ; Elhorst *et al.*, 2004). Le modèle hollandais RAEM se concentre, non seulement sur les conséquences sur la production et le bien-être, mais aussi, spécifiquement, sur le marché de l'emploi, étant donné que l'amélioration des transports a une incidence, non seulement sur le lieu de travail, mais aussi sur les décisions liées au lieu de résidence. Ce modèle introduit des difficultés supplémentaires, car il requiert non seulement un équilibre de production et de consommation sur les marchés des marchandises, avec un potentiel de réaction aux déséquilibres de long terme à travers la migration, mais aussi un équilibrage de l'offre et de la demande des marchés de l'emploi d'une période à l'autre et d'une zone à l'autre. En outre, lorsque les principaux bénéficiaires sont des voyageurs et non des marchandises, certaines simplifications utilisées dans la structure classique du modèle calculable d'équilibre général deviennent moins plausibles. Par exemple, l'utilisation de coûts de transport iceberg – où le coût de transport d'une marchandise est englobé dans la valeur des marchandises transportées de sorte que celle-ci est réduite du montant du coût de transport à la destination par rapport à leur origine – n'est pas adaptée pour les voyageurs. Dans le même esprit, le principe des coûts de transport constants par unité de distance est encore moins approprié au transport de voyageurs.

Néanmoins, l'application d'un modèle calculable d'équilibre général dans ce projet a produit un ensemble de résultats intéressants.

Les avantages généraux affichent des variations considérables du fait de la nature précise du projet et de la région étudiée (notamment les différences entre centre et périphérie) et représentent une proportion d'avantages directs supérieure (de l'ordre de 30 à 40 pour cent) par rapport à celle observée dans les travaux précédents. Ces avantages généraux sont supérieurs à ceux que proposent les modèles de simulation théorique ; selon le *Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment* (SACTRA, 1999), une fourchette de l'ordre de 10 à 20 pour cent est possible, conformément aux conclusions de Venables et Gasiorek (1999) selon lesquelles les 30 pour cent ne sont susceptibles d'être dépassés que dans quelques cas seulement (il y a lieu de noter cependant que, dans la version précédente, Oosterhaven et Elhorst avançaient un chiffre de 83 pour cent). Il ressort clairement des travaux d'Elhorst *et al.* (2004) que le niveau de détail dans la modélisation des réactions du marché de l'emploi peut être déterminant dans ce cas.

Toutefois, les modèles calculables d'équilibre général présentent encore des inconvénients majeurs : les principes d'équilibre, le besoin de nombreuses données provenant des sources existantes et le caractère « boîte noire » des grands modèles limitent leur utilité et leur facilité d'application. Jusqu'ici, on a eu tendance à utiliser les modèles calculables d'équilibre général dans les cas où ils étaient considérés comme des effets importants non liés aux transports ; leur utilisation dans le cadre de l'évaluation ordinaire des projets de transport mineurs pourrait être difficile à justifier. Le SACTRA (1999) a fortement recommandé au Gouvernement du Royaume-Uni d'investir davantage dans cette approche. À la suite d'une évaluation réalisée par RAND Europe (Gunn, 2004), le Ministère des Transports du Royaume-Uni (2005) a publié un document consultatif indiquant comment atteindre cet objectif.

### 3.8. Analyses a posteriori

La plupart des travaux empiriques cités ci-dessus concernent des études préalables de projets potentiels futurs. Relativement peu d'études préalables ont examiné dans le détail les effets qui se sont manifestés une fois les projets terminés. Il est notamment difficile d'identifier les effets spécifiques d'un projet sur la période nécessaire pour permettre à ces effets de se manifester. Cependant, parmi les rares analyses réalisées *a posteriori*, l'une d'entre elles relève un impact nettement inférieur par rapport aux études préalables. Hay *et al.* (2004) montrent comment un projet aussi important que le Tunnel sous la Manche n'a pas produit

d'avantages généraux significatifs au cours des dix premières années de sa mise en œuvre, du moins dans les économies régionales à proximité du Tunnel. Ils laissent entendre en effet que les avantages généraux sont tellement dispersés et à long terme qu'ils ne sont pas faciles à détecter.

#### 4. ÉVALUATION DES INFRASTRUCTURES AU NIVEAU DU MARCHÉ

La section précédente a fait remarquer à plusieurs reprises l'importance de la désagrégation pour identifier les besoins particuliers de chaque secteur et activité. On a déjà observé la mesure dans laquelle le marché de l'emploi était susceptible de jouer un rôle de premier plan dans ce processus. La désagrégation par territoires est également un élément essentiel pour mieux comprendre l'effet que produiront les investissements en infrastructures. L'importance accordée aux marchés devient fondamentale, lorsque l'on abandonne l'hypothèse confortable de la concurrence parfaite. Dans un univers où les rendements augmentent et la concurrence est imparfaite, une évaluation plus subtile du rôle des infrastructures est nécessaire.

La nouvelle géographie économique ou nouvelle économie spatiale fournit la justification théorique de cette approche. Cette stratégie conclut principalement que l'agglomération peut avoir lieu et se poursuivre sans mise en place de processus d'équilibre autonome. Cependant, la nature de cette approche fait en sorte qu'il est impossible de déterminer *a priori* l'effet d'une quelconque réduction des coûts de transport. Cela dépend en effet du niveau initial des coûts de transport, du niveau d'agglomération existant, de la taille de chaque marché, de l'étendue des économies d'échelle et des liens en amont et en aval au sein du marché (Fujita *et al.*, 1999 ; Fujita et Thisse, 2002).

Dans ce cas, c'est l'ampleur de la marge sur le coût marginal dans les secteurs utilisateurs de transports qui est importante. Dans les secteurs en situation de concurrence parfaite, les marges sont inexistantes et, par conséquent, tout changement dans les coûts de transport doit se répercuter directement sur l'activité finale ; ainsi, l'entité de l'effet sur l'économie en général dépend de l'élasticité de la demande relative à cette activité finale. Étant donné que la quantité de transports demandée dépend directement de la demande relative à l'activité finale, les avantages directs pour l'utilisateur comprennent tous les avantages économiques. Lorsque les marges augmentent, une distorsion se crée entre le marché de l'activité utilisatrice de transports et les transports qui y sont associés. Une réduction quelconque des coûts de transport due à de nouvelles infrastructures ne doit nécessairement pas se répercuter directement sur les clients de l'activité finale, mais les entreprises peuvent saisir cette opportunité pour augmenter ou réduire leurs marges. Réduire les marges en répercutant une valeur supérieure à la réduction des coûts de transport pourrait représenter un moyen pour accroître le marché d'une entreprise et obtenir un avantage de marché dans un marché plus concurrentiel. Par ailleurs, les entreprises peuvent utiliser la baisse des coûts de transport pour accroître leurs marges, par exemple pour investir afin de réduire les autres coûts et obtenir ainsi des gains grâce à des économies d'échelle potentielles. L'effet net peut aussi être négatif. Si la marge est négative, par exemple lorsque des secteurs industriels sont fortement subventionnés, notamment dans les régions avec un retard économique, les avantages directs pour l'utilisateur peuvent surestimer l'avantage économique total. Par conséquent, l'effet définitif d'un projet d'infrastructures (positif ou négatif, mais aussi en termes d'ampleur) est probablement imprévisible.

L'impact économique total comporte trois aspects principaux. Premièrement, l'effet sur la concurrence dans les régions intéressées ; deuxièmement, l'effet sur la capacité de tirer profit du changement de pouvoir de marché grâce à l'agglomération ; troisièmement, l'effet sur les liens, notamment les liens en amont tels

que le marché du travail. Une fois ces aspects évalués, il convient de déterminer comment ils peuvent être inclus dans une analyse coûts-avantages complète.

#### 4.1. Effets sur la concurrence

Les répercussions sur la concurrence sont ambiguës. Comme nous l'avons observé, sur des marchés en situation de concurrence parfaite, l'effet de la concurrence accrue est essentiellement neutre et doit être pris en compte de manière adéquate dans les avantages directs pour l'utilisateur. Sur des marchés en situation de concurrence imparfaite, l'effet direct d'une concurrence accrue découlant directement d'une baisse des coûts de transport est probablement neutre également. On estime habituellement que la situation de monopole tire son origine des barrières réelles à la concurrence posées par des coûts de transport plus élevés, de sorte que l'abaissement de ces barrières favorise la concurrence, réduit les marges de monopole et se traduit, par conséquent, par des avantages généraux découlant de la réduction des prix. D'autre part, ces pressions concurrentielles, si elles existent, peuvent éloigner les entreprises du marché et la baisse des coûts de transport peut avoir pour effet une réduction du nombre d'entreprises en mesure d'entrer en concurrence à long terme sur le marché. Dans la plupart des cas, il est probable que de tels effets s'annulent mutuellement et il est donc difficile que des avantages économiques généraux puissent venir s'ajouter.

Certaines exceptions peuvent se vérifier lorsque de nouvelles liaisons sont créées et leur effet sur les coûts de transport (déjà extrêmement élevés) est tel qu'il donne lieu à une restructuration du marché, introduisant ainsi une situation concurrence pour les monopoles locaux précédemment protégés. Il s'agit de la thèse du « déverrouillage » avancée par le SACTRA (1999) et réaffirmée par le Ministère des Transports du Royaume-Uni (2005). Dans les économies de marché les plus développées, de telles situations sont probablement rares.

#### 4.2. Effets d'agglomération

Les avantages d'agglomération susceptibles de résulter de la variation des coûts de transport sont nettement plus significatifs que les effets sur la concurrence du marché. L'idée est que l'augmentation de la production découlant de la baisse des coûts de transport produit des effets cumulatifs à travers le mode d'interaction des entreprises sur un marché. Ce phénomène implique non seulement des économies de localisation, où les entreprises opérant dans la même branche bénéficient de leur proximité mutuelle par le biais de facteurs tels que la concentration de main-d'œuvre spécialisée ou le partage de R-D, mais aussi des économies d'urbanisation, où les entreprises bénéficient d'une forme d'avantages liés aux biens d'intérêt public grâce à l'existence d'infrastructures urbaines (notamment la connaissance, la recherche et la culture ainsi que les infrastructures physiques). Plus le marché est vaste, plus l'effet supplémentaire dû à un impact additionnel sur la productivité est susceptible d'être important.

La question de savoir dans quelle mesure la taille des villes et la productivité sont liées ainsi que la relation de cause à effet ont été longuement débattues, mais on s'accorde de plus en plus à reconnaître qu'il existe une forte relation positive susceptible de produire un effet additionnel considérable sur les avantages découlant de l'amélioration des transports (Fujita et Thisse, 2002 ; Venables, 2007 ; Graham, 2005). Selon cette thèse, bien que la baisse des coûts de transport puisse amener les entreprises à augmenter la taille de leur marché, cette augmentation encourage les sociétés à bénéficier de rendements d'échelle ainsi que de la proximité d'autres entreprises plus efficaces. Les élasticités de la productivité sont habituellement comprises entre 0.01 et 0.1. En s'appuyant sur les données relatives aux régions de l'UE, Ciccone (2002) observe une élasticité par rapport à la densité de l'emploi de 0.05. Graham (2005) relève une élasticité moyenne pondérée de 0.04 dans le secteur de la fabrication au Royaume-Uni, avec des variations substantielles entre secteurs d'activité atteignant 0.2 et une moyenne de 0.12 dans le secteur des services. Il identifie en outre d'importantes variations entre les régions, qui dénotent différents niveaux de localisation des groupes sectoriels<sup>5</sup>

Cet avantage de production en situation de concurrence imparfaite présente également un autre aspect : du fait de l'augmentation de la productivité, les avantages directs pour l'utilisateur sont plus importants que dans l'hypothèse d'une situation de concurrence parfaite. Pour la plupart des projets, l'avantage direct le plus important pour l'utilisateur est l'économie de temps, estimée par rapport au niveau des salaires, en partant du principe que les salaires reflètent la productivité. L'augmentation de la productivité suppose qu'une valeur plus élevée d'économie de temps doit être appliquée. Cependant, l'augmentation de la productivité permet aux entreprises d'accroître leur production (ou de produire le même volume avec un nombre d'employés réduit), ce qui suppose qu'il convient de revoir à la hausse l'économie de temps.

### 4.3. Effets sur le marché du travail

L'avantage fondamental que procure une situation de concurrence imparfaite à certaines régions résulte de l'élargissement du marché, qui permet aux entreprises d'accroître tant la production (échelle) que la productivité. Cependant, il est utile de décomposer cet effet lié à la plus grande taille du marché en un effet pur lié à la taille du marché et en un ensemble d'interdépendances en amont et en aval associées à l'agglomération. L'une des principales interdépendances en amont s'applique au marché du travail. Lorsque les coûts de transport diminuent, les marchés du travail augmentent en taille, étant donné que les temps de déplacement domicile-travail sont réduits et que les entreprises ont accès à une offre de main-d'œuvre plus vaste. Ainsi, les entreprises peuvent non seulement bénéficier d'une éventuelle diminution du niveau des salaires due à l'augmentation de la concurrence sur un marché plus vaste, mais aussi accéder à une main-d'œuvre plus spécialisée et plus productive pour les raisons que nous venons de voir.

On pourrait normalement prévoir une prime de rémunération au centre du marché pour refléter non seulement son accessibilité améliorée, son échelle et ses effets sur la productivité, mais aussi la rémunération nécessaire pour inciter la main-d'œuvre à effectuer des déplacements domicile-travail dans la région élargie. L'amélioration des transports rend le travail au centre du marché plus alléchant pour les employés, non seulement parce que le bassin d'emploi au sein duquel les déplacements domicile-travail sont possibles est plus vaste, et davantage de personnes, en chaque lieu, considèrent plus intéressant de chercher un emploi au centre du marché plutôt qu'ailleurs (ou plutôt que de rester sans emploi), mais aussi parce que les personnes travaillant au centre du marché doivent être prêtes à adopter des horaires de travail plus longs. Par conséquent, l'élargissement du marché du travail entraîne un effet sur la production. En présence également d'un effet sur la productivité découlant d'effets d'agglomération au centre du marché, l'augmentation de la production de l'ensemble des employés vient s'ajouter à l'effet sur la production résultant de l'essor de l'emploi (voir Venables, 2007).

### 4.4. Conséquences pour l'évaluation

Alors qu'elles donnent lieu à un intéressant débat académique sur l'existence d'économies d'agglomération et sur la façon dont elles peuvent se manifester en termes d'avantages économiques généraux découlant d'investissements dans les transports, ces stratégies offrent-elles un moyen efficace pour améliorer les techniques d'évaluation des nouvelles infrastructures ? La plupart des activités de mise en œuvre concernent des projets d'investissements importants. Nous avons examiné ci-dessus l'application des modèles interactifs de transport et d'occupation des sols et des modèles calculables d'équilibre général à des projets tels que les RTE, les liaisons à grande vitesse aux Pays-Bas et les routes japonaises ; des exercices analogues ont été réalisés pour divers autres projets d'envergure dans le monde. L'application la plus approfondie de modèles fondés sur l'agglomération concerne le projet Crossrail, visant à la mise en place d'une importante ligne ferroviaire souterraine traversant la ville de Londres (Department for Transport, 2005). De tels exercices restent difficiles et coûteux en termes de données et de modélisation et ne peuvent souvent être justifiés que dans le cas de projets d'une envergure suffisante pour couvrir les coûts de cette modélisation. L'objectif est de disposer d'un modèle d'évaluation simple et aisément applicable, capable de prendre en compte les

mêmes effets pour n'importe quel projet, notamment parce qu'une bonne part de l'aménagement de réseaux est en fait le fruit d'une série de décisions indépendantes relatives à des liaisons particulières.

Il convient de noter que ce n'est pas la taille d'un projet d'infrastructures qui détermine l'échelle des avantages économiques généraux. Les projets importants ont probablement un effet plus large en termes d'avantages directs pour l'utilisateur, mais les avantages généraux ne sont pas simplement proportionnels aux avantages directs pour l'utilisateur. Certains projets d'une portée relativement moindre – les projets de « déverrouillage » – peuvent produire des avantages plus généraux d'une importance disproportionnée, alors que certains projets de très grande envergure peuvent avoir des répercussions relativement minimes en termes d'échelle, de productivité et d'effets d'entraînement. C'est pourquoi il n'existe aucune raison *a priori* d'appliquer un multiplicateur simple des avantages généraux. Cela démontre également que la recherche d'une élasticité de production simple comme dans les analyses macroéconomiques peut induire en erreur. Même à ce niveau cependant, les éléments empiriques (tels que ceux présentés par Graham) montrent la variabilité entre secteurs et régions des effets probables d'un niveau donné d'investissement en infrastructures. Cet aspect encourage fortement l'introduction d'autres éléments d'analyse microéconomique des effets au sein des entreprises et des ménages.

Au Royaume-Uni, après la publication du rapport de 1999 du SACTRA, on a officiellement recommandé de prendre en compte les avantages économiques dans le cadre d'un rapport sur l'impact économique lorsque des avantages confirmés en termes de régénération étaient observés ou lorsque la valeur en capital du projet concerné excédait 5 millions GBP. Le rapport élaboré par Eddington (2006) observe l'importance de tous ces processus et, surtout, recommande de les identifier à une phase précoce de l'élaboration du projet – le problème est clair : si les avantages généraux ne sont pris en compte que dans le cas de propositions de projets pleinement développées, il est probable que nombre de solutions plus efficaces aient déjà été écartées.

## 5. ÉVALUATION MICROÉCONOMIQUE DES INFRASTRUCTURES

À l'échelon microéconomique, il existe beaucoup moins de travaux systématiques montrant comment les infrastructures font évoluer le comportement des entreprises et des personnes. Certaines études sur l'effet des services ferroviaires à grande vitesse ont montré que les répercussions sur l'organisation interne des entreprises pouvaient être plus importantes que la redistribution globale de l'activité. L'intérêt croissant accordé à l'impact sur les marchés de l'emploi prouve qu'il est nécessaire d'établir davantage de relations entre les différents niveaux d'analyse, étant donné que les décisions microcomportementales peuvent être liées au fonctionnement de l'ensemble du marché du travail ainsi qu'à la productivité et aux effets d'agglomération. Une étude plus poussée de ce phénomène requiert un examen approfondi des changements qui interviennent à la suite de la mise en place de nouvelles infrastructures.

### 5.1. Effets sur le marché du travail

Gibbons et Machin (2005) constatent l'effet des nouvelles infrastructures sur les comportements individuels en estimant l'impact sur le prix des logements de la mise en place d'une nouvelle ligne de métro à Londres. Ils examinent les effets des nouvelles stations de métro sur les prix des logements situés à des distances différentes de celles-ci, en partant du principe que leur mise en place a accru l'accessibilité aux lieux de travail situés dans la zone de Central London. Les résultats indiquent l'existence d'un lien

positif clair : les valeurs moyennes augmentent de 9.3 pour cent dans les zones desservies par les nouvelles stations et d'environ 1.5 pour cent par kilomètre de distance en moins par rapport à la station de métro. Ces résultats s'appuient sur des hypothèses reposant sur les éventuels lieux de travail mais ne tiennent pas compte de la création d'emplois dans les zones desservies par les nouvelles stations ; cependant, ils semblent remarquablement solides sur le plan économétrique. En outre, ils supposent des valeurs extrêmement élevées en termes d'accessibilité (mesurée en prix du logement) par rapport aux résultats comparant des zones dotées d'une accessibilité différente. Cela indique qu'il existe une forte réaction positive à l'introduction de nouvelles infrastructures que les approches utilisant des modèles classiques fondés sur l'hypothèse d'un équilibre de marché pourraient ne pas réussir à identifier.

## 5.2. Effets sur l'organisation de l'entreprise

La plupart des études relatives aux effets sur l'entreprise se sont penchées sur l'impact des lignes du TGV français, pour examiner notamment leurs répercussions sur Paris et les autres villes de province. Bien que ces services aient entraîné une croissance substantielle du trafic, leur incidence sur les économies locales des villes desservies est beaucoup plus incertaine. D'une manière générale, il est impossible de déterminer si ces services ont eu des répercussions importantes sur la redistribution nette de l'activité économique entre Paris et les villes de province ou sur le taux de croissance globale de ces villes.

Les travaux en question comprennent notamment des études sur le TGV Paris-Sud-Est, en particulier l'axe Paris-Lyon, mis en service en 1981 (Plassard et Cointet-Pinell, 1986), sur le TGV Atlantique mis en service en 1989, avec notamment une étude sur Nantes (Klein et Claisse, 1997 ; Dornbusch, 1997), ainsi que des études préliminaires sur le TGV Nord, mis en service en 1993, avec notamment un examen des villes de Lille et Valenciennes (SES, 1998 ; Burmeister et Colletis-Wahl, 1996). Tous ces travaux relèvent une augmentation considérable du trafic entre Paris et chacune des villes de province desservies depuis la mise en service du TGV. Les répercussions sur le trafic commercial sont plus mitigées. Le TGV Paris-Sud-Est a par exemple entraîné une croissance importante ; le TGV Atlantique a en revanche donné lieu, dans l'ensemble, à une réduction marginale du trafic commercial, mais la période qui a immédiatement suivi sa mise en service a coïncidé avec une grave récession.

L'analyse relative à l'axe Paris-Lyon a relevé un impact important sur les schémas de mobilité, avec cependant des changements dans les deux sens. En substance, nombre d'entreprises dans ces deux villes ont modifié leur schéma de travail, ce qui a entraîné une intensification des déplacements dans les deux directions. Aucun effet global net sur les économies des deux grandes villes n'a été observé, mais on a observé une tendance générale à une concentration de l'activité économique dans ces grandes villes et dans les régions qui les entourent, notamment en Bourgogne et dans la région Rhône-Alpes. Cet effet de centralisation des lignes à grande vitesse est désormais bien connu.

Dans le cas du TGV Atlantique, le développement du trafic commercial a révélé des effets intéressants. Tours, située à 240 kilomètres de Paris (1 h 10) a connu une diminution considérable de son trafic commercial total (24 pour cent) et de celui par chemin de fer (40 pour cent) entre 1989 et 1993. Dans le cas de Nantes, située à 380 kilomètres de Paris (2 h 05), le trafic commercial total avec Paris a augmenté de 66 pour cent tandis que le trafic ferroviaire a triplé. En 1989, environ 73 pour cent du trafic provenait de Nantes, mais avec la mise en service du TGV, le trafic en provenance de Paris a augmenté beaucoup plus nettement (+99 pour cent) par rapport à celui en provenance de Nantes (+55 pour cent). La ville de Nantes s'est considérablement préparée à l'arrivée du TGV, eu égard à l'expérience de la ville de Lyon dans le passé, mais les effets se sont fait principalement ressentir dans la promotion immobilière et les répercussions sur les implantations d'entreprises par exemple ont été relativement minimes. Dans le cas du TGV Paris-Lyon, on a observé une certaine réorganisation interne des sociétés en vue de tirer profit des variations des coûts de transport relatifs au trafic commercial. Pour la ville de Toulouse, située à 700 kilomètres de Paris (5 h 06), l'augmentation du trafic commercial total après la mise en service du TGV a été de 21 pour cent. Dans ce cas cependant,

la plupart de cette augmentation est due au trafic local (+35 pour cent), et le trafic en provenance de Paris a diminué quant à lui de 5 pour cent. Toutefois, le moteur de ces changements a été attribué en grande partie au cycle conjoncturel plutôt qu'à la variation du prix de la prestation de services de transport. Dans ce cas, les effets différenciés sur les villes situées à environ 2 heures de Paris sont considérés comme un facteur déterminant ; les villes plus proches et celles plus éloignées n'en ont pas bénéficié dans la même mesure. Cette observation est cohérente avec le fait que le TGV a eu un impact plus important sur les déplacements d'une durée comprise entre deux et trois heures.

Dans le cas du TGV Nord, les distances sont plus courtes et l'impact est donc probablement moins important (Lille ne se trouve qu'à une heure de Paris). Néanmoins, le trafic total a enregistré une augmentation substantielle durant les premières années d'exploitation du TGV (5 pour cent la première année, 6 pour cent la deuxième et 11 pour cent la troisième). À l'exception de la deuxième année, la croissance du trafic en provenance de la région Nord Pas-de-Calais a été plus forte. Il est intéressant de noter que le trafic ferroviaire a enregistré une croissance supérieure sur ce dernier marché par rapport au trafic provenant de la région parisienne.

D'après l'étude sur la ville de Lille, environ un tiers de l'ensemble des déplacements commerciaux a subi une variation à la suite de la mise en service du TGV (aussi bien en termes de trafic sortant pour les entreprises établies dans la région et que de trafic entrant pour les clients de ces entreprises). Cependant, 90 pour cent des entreprises n'ont identifié aucun impact produit par le TGV sur leur activité globale. Comme dans les analyses précédentes, une certaine réorganisation interne, décrite dans le document comme une forme de « dualisation territoriale », a été observée. Des différences considérables ont été en outre relevées entre Lille et Valenciennes : tout comme dans le cas de l'axe Paris-Lyon, on a observé certains éléments de centralisation des activités vers Lille, principal centre régional, au détriment d'autres centres moins importants comme Valenciennes.

Les études sur le cas français illustrent l'importance cruciale des seuils relatifs aux temps de déplacement dans les effets des services offerts par le TGV sur les relations entre les principaux centres. Par conséquent, le délai annoncé de deux heures entre Paris et Lyon a été extrêmement déterminant. C'est vrai notamment pour ce qui est de la réaffectation des déplacements par avion vers le chemin de fer ; cependant, ce phénomène a également agi sur le potentiel de nouveaux déplacements consécutif aux nouvelles possibilités d'activité. En outre, bien que l'efficacité du TGV pour générer un nouveau trafic soit en grande partie due à la prestation de services directs à partir de zones situées à quelque distance des nouvelles infrastructures, les retombées économiques pour ces centres n'ont pas été aussi importantes que pour les zones desservies par les lignes principales.

Il semble donc qu'il existe un potentiel manifeste pour entreprendre un examen plus approfondi de l'effet direct des nouvelles infrastructures sur le comportement des personnes, des ménages et des entreprises, dont la portée s'éloignerait certainement des modèles classiques fondés sur l'analyse du marché ou sur l'analyse macroéconomique.

## 6. CONCLUSIONS ET CONSÉQUENCES

Le thème principal de ce document porte sur la nécessité d'établir clairement les objectifs lorsqu'il s'agit d'entreprendre une analyse quelconque de l'impact des infrastructures de transport sur l'activité économique, car la nature du résultat attendu aura des répercussions sur la pertinence des différentes méthodologies, qui, à

leur tour, sont susceptibles de fournir des résultats différents. Ces différences ne reflètent pas nécessairement une incohérence des résultats, mais plutôt une incompatibilité de la méthode utilisée.

Des progrès nettement plus importants ont été réalisés à partir des analyses macroéconomiques de l'impact global du transport sur l'économie. Ces travaux ont leur place dans notre conception de la relation fondamentale, mais ils ne sont pas nécessairement compatibles avec les méthodes de planification ou d'évaluation des nouvelles infrastructures. La question de l'endogénéité reste au cœur des problèmes posés par ces méthodes, bien que des travaux récents aient été en mesure de produire des résultats plus stables, notamment lorsque les infrastructures sont elles-mêmes désagrégées et rendues plus homogènes.

L'intérêt croissant récemment manifesté (ou remis à l'ordre du jour) à l'égard de la mesure des effets d'agglomération est essentiel pour nous permettre de comprendre les stratégies fondées sur les mécanismes du marché. Ces approches prennent en compte les variations spécifiques du degré d'imperfection de la concurrence, tant sur les marchés des produits que sur les marchés de l'emploi, ce qui les rend plus adaptées en tant que facteurs dans le processus d'évaluation, et ce, bien qu'il y ait lieu de se demander jusqu'où il est possible de répondre aux besoins de données créés par ces processus dans le cas de projets de moindre envergure. À l'évidence, il est difficile d'établir s'il existe des multiplicateurs transférables types d'une région à l'autre ou d'un projet à l'autre.

Il existe encore un besoin considérable d'analyses véritablement microéconomiques sur la réaction aux changements spécifiques, afin de comprendre certains aspects du processus décisionnel des personnes, des ménages et des entreprises face à la variation de la prestation de services de transports. Les résultats des analyses du marché de l'emploi et des entreprises sur l'effet des nouvelles liaisons ferroviaires indiquent que les réactions peuvent être plus importantes qu'on ne pourrait le supposer.

Cependant, l'évaluation exhaustive devra continuer à recourir aux trois types d'analyses pour permettre de comprendre l'effet économique global des nouvelles infrastructures de transport. Chacune d'entre elles a son rôle à jouer, en fonction de la priorité politique et de la situation de départ, de sorte que lorsque le manque d'infrastructures de transport représente une contrainte pour la croissance économique, les analyses macroéconomiques classiques fournissent encore la meilleure explication. Lorsque les questions relatives à la concurrence régionale passent au premier plan, les analyses de l'agglomération axées sur les conditions du marché sont essentielles pour toute évaluation. Lorsqu'il s'agit en revanche d'améliorer l'efficacité et de maximiser la prestation sociale, les analyses microéconomiques sont alors indispensables. Mais il reste encore beaucoup à faire.

## NOTES

1. Ce document s'inspire de plusieurs autres documents récents du même auteur, en particulier Vickerman (2007a, b).
2. L'intention n'est pas de fournir un bilan complet sur le développement de ces travaux car plusieurs études complètes existent déjà, voir par exemple Gramlich (1994) ; SACTRA (1999) et Vickerman (2000, 2002).
3. Il ne faut pas non plus oublier l'immense quantité d'études qui se sont proposé d'identifier la valeur « sociale » du transport – c'est-à-dire celle qui est supérieure à la valeur directe pour les usagers – que l'on retrouve dans les travaux réalisés par divers auteurs tels que Dupuit (1844) ; Pigou (1920) ; Knight (1924) ; Fogel (1964) et Fishlow(1965).
4. Pour un examen sérieux de ces travaux, voir Jiwattanakupaisarn (2007).
5. Voir aussi Graham (2006, 2007) pour un examen plus approfondi.

## RÉFÉRENCES

- Aschauer, D.A. (1989), Is public expenditure productive?, *Journal of Monetary Economics*, 23, 177-200.
- Boarnet, M.G. (1998), Spillovers and the locational effects of public infrastructure, *Journal of Regional Science*, 38, 381-400.
- Bröcker, J. (2000), Trans-European effects of trans-European networks in F. Bolle and M. Carlberg (eds), *Advances in Behavioural Economics*, Heidelberg: Physica.
- Bröcker, J. (2004), Computable general equilibrium analysis in transportation economics in Hensher, D.A., K.J. Button, K. Haynes and P. Stopher (eds) *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems: Handbooks in Transport Volume 5*, Oxford: Elsevier.
- Bröcker, J., R. Capello, L. Lundquist, T. Pütz, J. Rouwendal, N. Schneekloth, A. Spairani, M. Spangenberg, K. Spiekermann, R. Vickerman, M. Wegener, (2004), *Territorial Impact of EU Transport and TEN Policies*, Final Report of Action 2.1.1. of the European Spatial Planning Observation Network ESPON 2006, Kiel, Institut für Regionalforschung, Christian-Albrechts-Universität.
- Burmeister, A. et K. Colletis-Wahl (1996), TGV et fonctions tertiaires: grand vitesse et entreprises de service à Lille et Valenciennes, *Transports Urbains*, 93.
- Ciccone, A. (2002), Agglomeration effects in Europe, *European Economic Review*, 46: 213-227.
- Department for Transport (2005) Transport, Wider Economic Benefits, and Impacts on GDP, Technical Paper.
- Dodgson, J.S. (1973), External effects in road investment, *Journal of Transport Economics and Policy*, 7, 169-185.
- Dornbusch, J. (1997), Nantes, sept ans après l'arrivée du TGV Atlantique, *Notes de Synthèse du SES*, Mai-Juin.
- Dupuit, J.A. (1844), De la mesure de l'utilité des travaux publics, *Annales des Ponts et Chaussées*, 8.
- Eddington, R (2006), Transport's Role in Sustaining the UK's Productivity and Competitiveness. London: HMSO.
- Elhorst, J.P., J. Oosterhaven, A.E. Romp (2004), Integral Cost-Benefit Analysis of Maglev Technology Under Market Imperfections SOM Research Report, University of Groningen.
- Fishlow, A. (1965), *American Railroads and the Transformation of the Ante-Bellum Economy*. Harvard Economic Studies; Vol. 127, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Fogel, R.M. (1964), *Railroads and American Economic Growth: Essays in Economic History*, Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.

- Flyvbjerg, B., N. Bruzelius et W. Rothengatter, W. (2003) *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Fujita, M., P. Krugman et A.J. Venables (1999) *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Fujita, M. et J.F. Thisse (2002), *Economics of Agglomeration*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Gibbons, S. et S. Machin (2005), Valuing Rail Access Using Transport Innovations, *Journal of Urban Economics*, 57, 148-69.
- Graham, D. (2005), Wider economic benefits of transport improvements: link between agglomeration and productivity. Stage 1 Report, London: Department for Transport.
- Graham, D. (2006), Wider economic benefits of transport improvements: link between agglomeration and productivity, Stage 2 Report. London: Department for Transport.
- Graham, D. (2007), Agglomeration, productivity and transport investment, *Journal of Transport Economics and Policy*, 41, 1-27.
- Gramlich, E. (1994), Infrastructure investment: a review essay, *Journal of Economic Literature*, 32, 1176-1196.
- Gunn, H. (2004) SCGE Models: Relevance and Accessibility for Use in the UK, with emphasis on Implications for Evaluation of Transport Investments, Final Report to Department of Transport, London., Cambridge RAND Europe.
- Hay, A., K. Meredith, R. Vickerman (2004), *The impact of the Channel Tunnel on Kent and Relationships with Nord-Pas de Calais*, Final Report to Eurotunnel and Kent County Council, Canterbury: University of Kent Centre for European Regional and Transport Economics.
- Holtz-Eakin, D. (1994), Public-sector capital and the productivity puzzle, *The Review of Economics and Statistics*, 76, 12-21.
- Holtz-Eakin, D. et Schwartz, A.E. (1995), Spatial productivity spillovers from public infrastructure: Evidence from state highways, *International Tax and Public Finance*, 2, 459-68.
- Jara-Diaz, S.R. (1986), On the relationships between users' benefits and the economic effects of transportation activities, *Journal of Regional Science*, 26, 379-391.
- Jiwattanakulpaisarn, P. (2007), Granger Causality and Spatial Spillover Effects of Highway Infrastructure on Regional Economic Development: Evidence from an Application of Spatial Filtering in a Panel Vector Autoregressive Framework, paper to European Regional Science Meeting, Paris, 2007.
- Klein, O. et G. Claisse (1997), *Le TGV-Atlantique: entre recession et concurrence*, LET, Lyon.
- Knight, F.H. (1924), Some fallacies in the interpretation of social costs, *Quarterly Journal of Economics*, 38, 582-606.
- Miyagi, T. (1998), A Spatial Computable General Equilibrium Approach for Measuring Multiregional Impacts of Large Scale Transportation Projects, *Network Infrastructure and the Urban Environment*, Heidelberg: Springer.

- Miyagi, T. (2001), Economic Appraisal for Multi-regional Impacts by a Large Scale Expressway Project, Tinbergen Institute Discussion Paper TI 2001-066/3, Amsterdam: Tinbergen Institute.
- Oosterhaven, J., J.P. Elhorst (2003), Indirect economic benefits of transport infrastructure investments, in W. Dullaert, B. Jourquin, J.B. Polak (eds), *Across the Border: Building on a Quarter Century of Transport Research in the Benelux*, Antwerp: De Boeck.
- Pereira, A.M. et Andraz, J.M. (2004), Public highway spending and state spillovers in the USA, *Applied Economics Letters*, 11, 785-8.
- Pigou, A.C. (1920), *The Economics of Welfare*, London: Macmillan.
- Plassard, F. et O. Cointet-Pinell (1986), *Les effets socio-économique du TGV en Bourgogne et Rhône Alpes*, DATAR, INRETS, OEST, SNCF, 1986.
- SACTRA (Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment) (1999), *Transport and the Economy*, London: Stationery Office.
- SES (1998), Évaluation de l'impact du TGV Nord-Européen sur la mobilité, Les Études du SES.
- Simmonds, D. (David Simmonds Consultancy in collaboration with Marcial Echenique and Partners) (1999), *Review of Land Use/Transport Interaction Models*, Report to Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, London: DETR.
- Venables, A.J. (1999), Road transport improvements and network congestion, *Journal of Transport Economics and Policy*, 33, 319-328.
- Venables, A.J. (2007), Evaluating urban transport improvements: cost-benefit analysis in the presence of agglomeration and income taxation. *Journal of Transport Economics and Policy* 41, 173-188.
- Venables, A. et M. Gasiorek (1999), *The Welfare Implications of Transport Improvements in the Presence of Market Failure Part I*, Report to Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, London: DETR.
- Vickerman, R.W. (2000), Economic growth effects of transport infrastructure, *Jahrbuch für Regionalwissenschaft*, 20: 99-115.
- Vickerman, R.W. (2002), Transport and Economic Development, in *Transport and Economic Development*, Round Table 119, Economic Research Centre, European Conference of Ministers of Transport, OECD, Paris: 139-177.
- Vickerman, R.W. (2007a), Cost-benefit analysis and large-scale infrastructure projects: state of the art and challenges, *Environment and Planning B*, 34, 598-610.
- Vickerman, R.W. (2007b), Cost Benefit Analysis and the Wider Economic Benefits from Mega-Projects, in *Decision-Making on Mega-Projects: Cost-benefit Analysis, Planning and Innovation* ed. H. Priemus, B. van Wee et B. Flyvbjerg, Cheltenham: Edward Elgar.
- Wegener, M. et D. Bökemann (1998), *The SASI Model: Model Structure*, SASI Deliverable 8. Berichte aus dem Institut für Raumplanung 40, Dortmund: Institut für Raumplanung, Universität Dortmund.



**AVANTAGES ÉCONOMIQUES PLUS LARGES DES  
TRANSPORTS**

**T.R. LAKSHMANAN**  
**Université de Boston**  
**États-Unis**



## SOMMAIRE

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCTION ET APERÇU GÉNÉRAL .....   | 59 |
| 2. MODÉLISATION MACROÉCONOMIQUE DES IMPACTS ÉCONOMIQUES DES<br>INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT.....  | 60 |
| 2.1. Convergences et fortes divergences de vues dans les travaux publiés.....                     | 60 |
| 2.2. Écarts des résultats dans un même pays ou entre pays au même stade<br>de développement ..... | 62 |
| 2.3. Pays à différents stades de développement et effets de seuil .....                           | 63 |
| 2.4. Mécanismes qui relient les améliorations des transports et l'économie .....                  | 64 |
| 3. ENSEIGNEMENTS DE L'HISTOIRE ÉCONOMIQUE.....  | 65 |
| 4. AVANTAGES ÉCONOMIQUES PLUS LARGES DES TRANSPORTS : VUE<br>D'ENSEMBLE .....                     | 67 |
| 5. REMARQUES DE CONCLUSION.....   | 70 |
| NOTES.....  | 71 |
| RÉFÉRENCES .....  | 73 |

Boston, décembre 2007



## 1. INTRODUCTION ET APERÇU GÉNÉRAL

Les apports économiques des investissements en infrastructures de transport sont généralement évalués d'un point de vue microéconomique, afin d'établir le lien entre des améliorations particulières des infrastructures de transport et la productivité de certaines unités de production. L'outil économique classique de l'approche microéconomique est l'analyse coût-avantages (ACA) : appliqué *ex ante*, cet instrument vise à rendre compte des avantages associés aux gains de temps et aux économies de coûts – ainsi que d'autres effets bénéfiques des perfectionnements de la logistique et du regroupement des installations rendus possibles par les progrès des transports –, de même que des coûts connexes, notamment les coûts externes. L'objectif de cette Table Ronde organisée sous les auspices de l'OCDE/FIT et de l'Université de Boston est de définir des méthodes tenant compte des *avantages économiques plus larges* des infrastructures de transport, que ne reflètent habituellement pas les estimations résultant de l'ACA, et de faire avancer leur application.

Ce bref document entend donner une vue d'ensemble de ces avantages économiques plus larges qui découlent des investissements en infrastructures de transport. La section 2 passe rapidement en revue les textes récents sur les modèles macroéconomiques qui affirment que certaines externalités des investissements en infrastructures ne sont pas prises en compte dans les études microéconomiques étayées par l'ACA. Ces modèles macroéconomiques identifient les réductions de coûts dans l'ensemble de l'économie et l'accroissement de la production imputables aux infrastructures de transport. Bien qu'ils permettent d'inférer globalement une faible retombée économique positive des infrastructures de transport, l'intérêt de ce résultat est sujet à caution puisque cette modélisation macroéconomique comporte deux sérieux inconvénients : *d'abord*, des écarts importants et de fortes contradictions eu égard à l'*ordre de grandeur* et à l'*orientation* des effets économiques des infrastructures ; et *ensuite*, les rares indications données par les modèles macroéconomiques sur les mécanismes par lesquels s'articulent les améliorations des transports et l'économie en général. La section 3 s'efforce de cerner les avantages économiques plus larges des équipements de transport et les processus économiques en jeu dans l'apparition de ces avantages, en s'inspirant des études d'histoire économique portant sur la transformation économique inhérente aux investissements considérables engagés dans les chemins de fer et les voies navigables dans le monde entier. La section 4 analyse les connaissances dont nous disposons aujourd'hui sur l'ouverture des marchés, les retombées positives du commerce, la promotion de l'intégration interrégionale et l'amélioration des performances sur les marchés des facteurs induites par les améliorations des infrastructures de transport. Les progrès des transports ont par ailleurs permis l'émergence de deux autres mécanismes dans les regroupements d'activités, l'un qui a trait aux bienfaits de l'agglomération spatiale, et l'autre à l'innovation et à la commercialisation de nouveaux savoirs. Cette section se penche sur ces mécanismes dans l'optique des recherches théoriques menées récemment, d'une part dans le domaine de la 'nouvelle économie géographique' et d'autre part dans la recherche sur l'innovation associée aux 'économies de variété'. La section 5 formule les conclusions à tirer de ce rapport.

## 2. MODÉLISATION MACROÉCONOMIQUE DES IMPACTS ÉCONOMIQUES DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Les modèles macroéconomiques offrent la possibilité de procéder à l'analyse économétrique *ex post* des contributions que les investissements en infrastructures de transport procurent à une économie en termes de réduction des coûts et d'accroissement de la production – ces effets sont généralement traduits par des fonctions de coûts et des fonctions de production. Le principe sur lequel reposent les modèles macroéconomiques est que les investissements dans les infrastructures de transport s'accompagnent d'externalités dont les études fondées sur l'ACA ne rendent pas compte. L'intégration de ces externalités permettrait, à l'aide de modèles macroéconomiques, de trouver le taux de rendement social des infrastructures de transport. Cependant, les modèles dans lesquels la production totale est exprimée au moyen du PIB ne peuvent saisir la valeur des gains de temps imputables aux infrastructures *que dans la mesure où* ces gains de temps s'appliquent à la production – et non aux loisirs (ce que l'ACA peut distinguer). De plus, les analyses qui mettent l'accent sur la production totale risquent de laisser de côté les effets de la construction d'installations de transport qui se répercutent sur les prix relatifs, et qui peuvent avoir des retombées considérables en termes de bien-être (Haughwout, 1998).

Des analyses macroéconomiques de la productivité des infrastructures de transport de cette nature ont été menées durant les trois dernières décennies au Japon, aux États-Unis, en Suède, au Royaume-Uni, en France, en Allemagne, en Inde, au Mexique et dans d'autres pays également. Ces études diffèrent à de nombreux égards :

- la spécification fonctionnelle des modèles (Cobb-Douglas, élasticité constante de substitution ou forme fonctionnelle flexible) ;
- les types de mesures qu'ils appliquent aux différentes variables du modèle telles que la production (par exemple le PIB, le revenu des ménages, le revenu régional brut, etc.), ou le patrimoine public (valeur des équipements ou autres mesures de l'infrastructure physique) ;
- le niveau de désagrégation des secteurs économiques [allant par exemple de la production totale dans le modèle d'Aschauer (1989) aux productions de 35 secteurs dans le modèle de Nadiri-Mamaneus (1996)] ;
- la dimension des zones géographiques (pays, région, État, zone métropolitaine ou comté) ; et
- l'aspect temporel de l'analyse (séries chronologiques, données transversales ou données groupées)

### 2.1. Convergences et fortes divergences de vues dans les travaux publiés

Le principal point d'accord qui se dégage de ces analyses macroéconomiques des liens entre les transports et l'économie est l'opinion largement répandue selon laquelle les infrastructures de transport contribuent à la croissance économique et à l'amélioration de la productivité. Il s'agit néanmoins d'une contribution faible et

variable au fil du temps. Cette inférence au sujet de l'impact économique des infrastructures est solidement étayée, puisqu'elle est exprimée dans un grand nombre d'études utilisant des spécifications diverses des fonctions de production et de coût, sur des périodes de durée différente, dans des pays différents, et compte tenu de représentations légèrement dissemblables de plusieurs variables (voir Tableau 1).

Toutefois, cette inférence d'une faible contribution économique positive des investissements en infrastructures occulte certaines différences et contradictions frappantes que présentent les résultats des études récentes. La comparaison des différentes mesures de la contribution économique des infrastructures (par exemple les élasticités-production, les élasticités-coût ou les taux de rentabilité des infrastructures de transport) fait ressortir que les résultats sont très disparates dans les études récentes :

- dans un même pays, globalement, et sur des périodes de durée différente ;
- dans différents pays se trouvant plus ou moins au même stade de développement ;
- dans des pays ayant atteint différents stades de développement ; et
- lorsque des effets de seuil et une croissance accélérée sont manifestes.

Cette grande diversité de résultats contradictoires ne saurait être attribuée à des défaillances méthodologiques car beaucoup d'entre eux sont le fruit d'études récentes dans lesquelles les auteurs ont eu recours à des formes fonctionnelles et des méthodes statistiques complexes.

Tableau 1. **Récapitulation des élasticités-production et des élasticités-coût du patrimoine routier et d'autres équipements publics dans divers pays**

| Pays        | Échantillon  | Mesure de l'infrastructure   | Fourchette d'élasticité   |
|-------------|--|--|---|
| États-Unis  | agrégé (sc)<br>États (dt)<br>États (sc/dt)<br>régions, camionnage<br>(sc/dt) | équipements publics<br>équipements publics<br>patrimoine routier<br>patrimoine routier | production : 0.05 à 0.39<br>production : 0.19 à 0.26<br>production : 0.04 à 0.15<br>coût : -0.044 à -0.07 |
| Japon       | régions (sc/dt)  | infrastructures de transport et de communication                                       | production : 0.35 à 0.42  |
| Royaume-Uni | agrégé (sc)  | équipements publics  | coût : négative, significative sur le plan statistique  |
| France      | régions (dt)   | équipements publics  | production : positive, significative sur le plan statistique  |
| Allemagne   | industrie (sc/dt)  | équipements publics, patrimoine routier  | coût : négative, significative sur le plan statistique  |
| Inde        | agrégé (sc), États (dt)  | infrastructures économiques : route, rail, puissance électrique installée              | coût : -0.01 à -0.47  |
| Mexique     | national, 26 industries  | transports, communications et électricité, équipements publics                         | rentabilité des équipements publics : 5.4 % - 7.3 %   |

Note: sc = séries chronologiques ; dt = données transversales.

## 2.2. Écarts des résultats dans un même pays ou entre pays au même stade de développement

Le Tableau 2 illustre un aspect de cette divergence entre les études concernant l'impact des équipements publics. Pereira (2001), ainsi que Demetriades et Mamuneas (D-M, 2000), appliquent des fonctions de production complexes pour analyser les relations entre les équipements publics et la production dans 12 pays de l'OCDE, en gros durant la même période, en utilisant respectivement un modèle autorégressif vectoriel à correction d'erreur (VAR / ECM) et une forme fonctionnelle flexible pour la fonction profit.

D'abord, dans l'étude de D-M (2000), l'estimation des élasticités-production des équipements publics des États-Unis (ainsi que de la Suède et de l'Allemagne) aboutit à un résultat *quatre fois supérieur* à celui de l'étude de Pereira (2001). S'agissant du Royaume-Uni et du Japon, les estimations représentent *le double*. Ensuite, les cinq pays de l'OCDE présentés au Tableau 2 sont des pays industriels riches de niveau comparable eu égard à l'évolution technologique, à la composition industrielle, aux revenus et à la consommation. Dès lors que les *diverses entreprises qui font appel aux transports* réagissent aux améliorations des infrastructures et des services de transport de l'économie où elles opèrent, les multiples mécanismes du marché et processus structurels à l'œuvre interagissent et produisent des effets économiques qui se propagent dans toute l'économie et finissent par entraîner une croissance du PIB. Il y aurait lieu de s'attendre que ces effets soient d'ampleur comparable dans les cinq pays considérés, et pourtant, les estimations des élasticités-production se situent dans la fourchette comprise entre 1.03 (États-Unis) et 0.358 (Royaume-Uni) dans l'étude de D-M (2000), tandis que les estimations de Pereira vont de 0.2573 (États-Unis) à 0.143 (Royaume-Uni). Des écarts aussi prononcés des paramètres s'agissant d'un même pays ou de pays au niveau de développement comparable appellent une explication.

La Graphique 1 présente l'évolution de la productivité des infrastructures au fil du temps aux États-Unis. Nadiri et Mamuneas (1996) chiffrent les taux de rendement nets du patrimoine routier (qui représente la majeure partie des équipements publics) à :

- une fourchette comprise entre 30 % et 45 % dans les années 1951-1967 ;
- une fourchette comprise entre 15 % et 30 % dans les années 1968-1978 ; et
- moins de 15 % de 1979 à 1987.

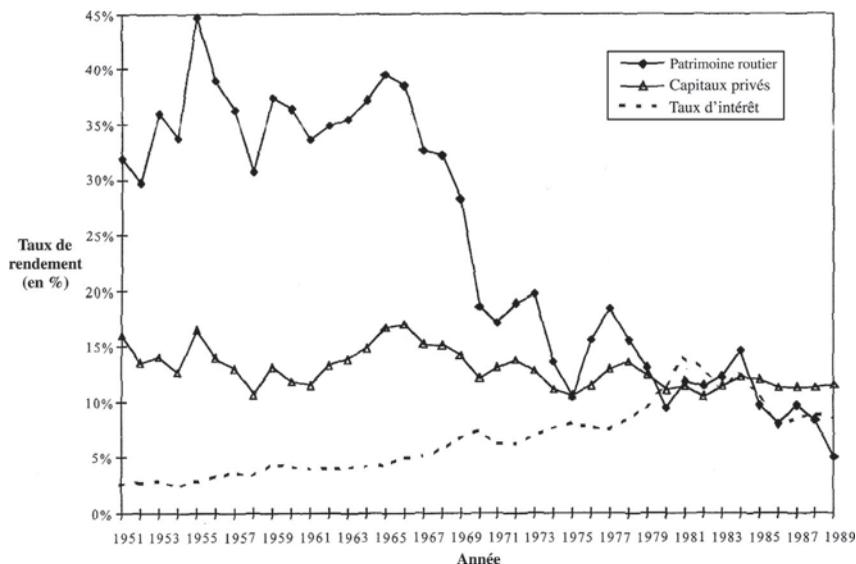
Le taux de rendement net des équipements publics était plus élevé que celui des capitaux privés entre 1951 et 1978. Dans les années ultérieures, les taux de rendement des capitaux privés ont dépassé ceux du patrimoine routier.

L'analyse de Fernald (1999) de la contribution des équipements publics à la productivité de l'industrie des États-Unis entre 1953 et 1989 indique une chronologie similaire des effets considérés. L'auteur émet

Tableau 2. Effets des équipements publics sur la productivité : forte divergence des résultats

|   | États-Unis            | Japon  | Royaume-Uni | Suède  | Allemagne |
|---|-----------------------|--------|-------------|--------|-----------|
| Pereira (2001)<br>Modèle autorégressif vectoriel/<br>mécanisme de correction d'erreur<br>– données du début des années 60<br>jusqu'à la fin des années 80 | RL (10 ans)<br>0.2573 | 0.2525 | 0.1430      | 0.2270 | 0.1905    |
| Demetriades et Mamuneas (2000).<br>Forme fonctionnelle flexible pour<br>la fonction profit (données des<br>années 1972-1991)                              | 1.03                  | 0.499  | 0.358       | 1.217  | 0.768     |

Graphique 1. Taux de rendement nets du patrimoine routier, des capitaux privés et des taux d'intérêt privés (1951-1989) – Nadiri et Mamuneas (1996)



l'avis selon lequel la construction généralisée de routes dans les années 50 et 60 (le réseau inter-États) a induit une hausse à caractère exceptionnel<sup>1</sup> de la productivité (dans la période antérieure à 1973).

Demetriades et Mamuneas (2000), en revanche, concluent à une chronologie des effets sur la productivité aux États-Unis qui diffère de celle avancée par Nadiri-Mamuneas et Fernald. En effet, Demetriades et Mamuneas ont calculé que les taux de rendement nets des équipements publics dépassent systématiquement, durant toute la période comprise entre 1972 et 1991, les taux de rendement nets des capitaux privés. De fait, les estimations des taux de rendement nets à long terme des équipements publics aux États-Unis (ainsi qu'au Canada, au Japon, en Allemagne, en France, en Italie et au Royaume-Uni) sont restées supérieures à celles des capitaux privés. Autrement dit, l'investissement d'un dollar supplémentaire au début des années 90 (d'après Demetriades et Mamuneas) aurait été plus productif à long terme, du point de vue de la collectivité, s'il avait été consacré aux équipements publics.

Les études de Nadiri-Mamuneas et de Fernald, d'une part, et celles de Demetriades et Mamuneas, de l'autre, débouchent donc sur deux profils d'évolution différents de la productivité des équipements publics entre le milieu des années 70 et le début des années 90.

### 2.3. Pays à différents stades de développement et effets de seuil

La Graphique 2 présente les estimations des élasticités de la production par rapport aux équipements publics dans un groupe de pays ayant atteint divers stades de développement (Canning et Bennathan, 2000). On observe une courbe en U inversé, les élasticités étant supérieures dans les pays à revenu intermédiaire, et légèrement inférieures dans les extrémités basse et haute de la fourchette de distribution des revenus.

Les taux de rendement des routes revêtues présentés dans la Graphique 2 et classés par catégories dans le Tableau 3 ont été obtenus à l'aide d'une fonction production translog (Canning et Bennathan, 2000) appliquée à divers pays représentatifs de la distribution des revenus dans le monde. Les routes revêtues affichent des taux de rendement élevés dans certains pays en développement à revenu intermédiaire (Chili, Colombie, Corée du Sud, et les Philippines). En revanche, ces taux sont faibles dans les pays développés riches et dans certains pays en développement.<sup>2</sup>

Graphique 2. Élasticité de la production par rapport aux routes revêtues

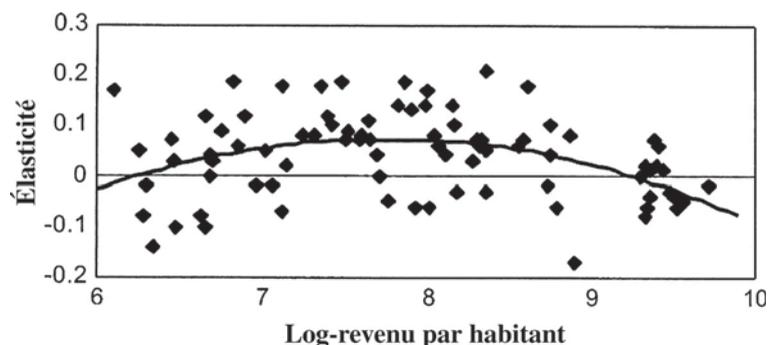


Tableau 3. Productivité des infrastructures de transport dans des pays à différents stades de développement

|   | Pays dans le quartile inférieur des revenus | Pays dans le quartile médian des revenus | Pays dans le quartile supérieur des revenus |
|---|---|--|---|
| Élasticité-production des routes revêtues | 0.05  | 0.09                                     | 0.04  |

Source: Canning et Besanhan, 2000.

#### 2.4. Mécanismes qui relient les améliorations des transports et l'économie

Certes, les modèles macroéconomiques aident à déterminer si les infrastructures de transport ont pour conséquences de réduire les coûts de production, de relever le niveau de production économique et de renforcer la productivité des capitaux privés, et si tel est le cas dans quelle mesure ces effets se font sentir, mais le type d'appareil analytique qu'ils nécessitent fonctionne comme une « boîte noire ». Nous n'avons qu'une vague idée des mécanismes et des processus de causalité qui transposent les améliorations infrastructurelles en accroissements de la production et de la productivité. Ces mécanismes, déclenchés par les économies pécuniaires et les gains de temps qu'induisent les améliorations des infrastructures de transport, opèrent aux niveaux régional et interrégional sur les agents économiques de différents types de marchés. Les moindres coûts et la plus grande accessibilité qui profitent aux secteurs de production utilisant les transports et aux entreprises qui expédient les marchandises de l'entreprise jusqu'au point de vente, de même qu'aux ménages quand ils font leurs courses et dans leurs déplacements domicile-travail, entraînent généralement des types et des séries de conséquences dont on peut citer notamment les suivantes : l'expansion des marchés, l'amélioration de l'efficacité à la faveur des économies d'échelle, la restructuration économique découlant de l'entrée et de la sortie d'entreprises exposées à une concurrence nouvelle, les économies liées au phénomène d'agglomération spatiale et les avantages pour l'innovation des grappes industrielles qui se constituent grâce à l'existence d'infrastructures de transport, entre autres.

Cet inventaire succinct des inconvénients que présentent les modèles macroéconomiques – les incertitudes sur l'ampleur et l'orientation des retombées économiques des infrastructures de transport qui s'y rattachent, et le peu qu'ils renseignent sur les mécanismes et les processus qui sous-tendent les liens transports-économie – donne à penser que nous devrions chercher ailleurs des lignes directrices afin de cerner et d'estimer les avantages

économiques plus larges résultant des transports. De fait, des textes d'histoire économique ont analysé et décrit, pour les chemins de fer et les voies navigables dans de nombreux pays, les multiples mécanismes et processus économiques qui transforment les améliorations des transports en un large éventail de conséquences (souvent évolutives) dans l'ensemble de l'économie. Nous nous y intéresserons brièvement pour mettre en lumière la grande diversité des conséquences plus générales des infrastructures de transport.

### 3. ENSEIGNEMENTS DE L'HISTOIRE ÉCONOMIQUE

Dans cette discipline, les historiens ont cherché à mesurer dans bon nombre de pays les répercussions de l'expansion des réseaux de chemin de fer sur la croissance économique et le développement.<sup>3</sup> Ils ont alors démontré comment les gains de temps et les économies de coûts induits par l'extension des réseaux ferrés sont des retombées bénéfiques qui irriguent l'économie d'un pays en assurant la liaison entre les marchés de produits et les marchés de facteurs, en favorisant les échanges interrégionaux, la spécialisation et les rendements d'échelle croissants, ainsi qu'en redéployant les activités économiques.

Un indicateur fréquemment employé pour évaluer l'importance que revêt le chemin de fer pour l'économie d'un pays est celui des *économies pour la collectivité*, correspondant à ce qu'il en coûterait de se passer de chemin de fer pendant un an. Une situation hypothétique est envisagée dans laquelle les producteurs, en cas de cessation d'exploitation du réseau ferroviaire pendant un an, transporteront le même volume de marchandises vers les mêmes destinations en faisant appel à d'autres modes<sup>4</sup>. Le Tableau 4 présente des estimations des économies pour la collectivité imputables au chemin de fer (exploité sans interruption) dans dix pays.

Tableau 4. Estimations des économies pour la collectivité imputables au fret ferroviaire, 1865-1913

| Pays                         | Date        | Économies pour la collectivité exprimées en % du PNB |
|------------------------------|-------------|--|
| Angleterre et Pays de Galles | 1865        | 4.1  |
| Angleterre et Pays de Galles | 1890        | 11.0   |
| États-Unis                   | 1859        | 3.7  |
| États-Unis                   | 1890        | 8.9  |
| Russie                       | 1907        | 4.6  |
| France                       | 1872        | 5.8  |
| Allemagne                    | années 1890 | 5.0  |
| Espagne                      | 1878        | 11.8   |
| Espagne                      | 1912        | 18.5   |
| Belgique                     | 1865        | 2.5  |
| Belgique                     | 1912        | 4.5  |
| Mexique                      | 1910        | 25-39  |
| Argentine                    | 1913        | 21-26  |

Source : Patrick O'Brien (1983).

La fermeture d'un réseau ferroviaire totalement opérationnel pénalise considérablement l'économie d'un pays, en termes de perte de PIB, et cela s'est particulièrement produit en Espagne, au Mexique et en Argentine. Dans des économies continentales comme celles des États-Unis et de la Russie, le chemin de fer n'a pas assuré un service beaucoup moins coûteux que les voies navigables par tonne-mile de fret sur des itinéraires longs et comparables, et il s'en est dégagé de plus faibles économies pour la collectivité.

Néanmoins, on considère actuellement que l'indicateur des économies pour la collectivité de Fogel est statique, et qu'il laisse de côté non seulement les 'effets d'entraînement en aval' dans l'économie dus à l'existence de chemins de fer (Williamson, 1974), mais également divers effets indirects et induits qui leur sont imputables aussi, dont il est question dans de nombreuses études sur les incidences des chemins de fer à long terme et dans des études de cas (Foreman-Peck, 1991).

Le Tableau 5 récapitule certains de ces effets plus larges des infrastructures ferroviaires repris de sept études de cas. Au 19<sup>ème</sup> siècle, le chemin de fer a permis de réduire de 80 pour cent par mile les coûts de transport en Inde, et c'est ainsi que les expéditions de céréales en vrac ont commencé, pour aboutir à la création d'un marché national des céréales alimentaires et à la convergence des prix sur tout le territoire (Hurd, 1975).<sup>5</sup> Dans une autre étude portant sur les marchés des facteurs en Inde, Collins (1999) a mis en évidence que la baisse des coûts de transport dans les chemins de fer indiens a facilité la convergence régionale des salaires en favorisant à la fois la mobilité de la main-d'œuvre et le commerce interrégional de produits de base, surtout dans les régions métropolitaines de Calcutta et de Bombay. A la fin du 19<sup>ème</sup> siècle et au début du 20<sup>ème</sup>, dans la partie européenne de la Russie, les réseaux ferroviaires ont stimulé l'intégration des marchés, à la

Tableau 5. Les répercussions plus générales des investissements ferroviaires (1850-1914)

| Auteur                             | Pays                                | Répercussions plus générales des infrastructures de transport  |
|------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Hurd (EEH, 1975)                   | Inde (1861-1921)                    | Les prix ont commencé à converger dans toute l'Inde et le marché indien des céréales s'est développé.  |
| Collins (EEH, 1999)                | Inde (1873-1906)                    | La disparité de salaires s'est réduite, les salaires réels dans les zones à plus bas salaire au départ ont augmenté plus rapidement.   |
| J. Metzger (JEH, 1974)             | Russie tsariste (1870-1910)         | Naissance d'un marché national des céréales. Amélioration des termes des échanges interrégionaux. Réduction des prix => spécialisation régionale => meilleure affectation des ressources.    |
| Summerhill (JEH, 2005)             | Brésil (1898-1913)                  | L'acquisition de la spécialisation a stimulé la productivité.  |
| Summerhill (doc. non publié, 2001) | Argentine (1857-1913)               | 12-26 % du PIB d'économies pour la collectivité. La plupart des avantages ont profité aux producteurs et aux consommateurs argentins.  |
| Heronz-Lancon (JEH, 2006)          | Espagne (1850-1913)                 | Études comptables de la croissance. Gains de PTF pour les chemins de fer espagnols. En 1914, 11 % de croissance du revenu par habitant (contre 14 % au Royaume-Uni). Arguments contre Fogel. |
| Fishlow (1965)                     | Middle West, États-Unis (1848-1890) | Expansion agricole et industrielle des États des Grands Lacs, intégration avec le reste du pays et dans l'économie mondiale  |

faveur des avantages que le commerce a permis de concrétiser (Metzer, 1974). Le resserrement des écarts de prix des produits de base a intensifié la spécialisation régionale de la production, d'où une meilleure affectation des ressources. A cet égard, Metzer (1982) et O'Brien (1991) font valoir que les bienfaits de cette intégration *s'ajoutent* à ceux que recouvre l'indicateur des économies pour la collectivité de Fogel, et ils entraînent des économies internes et externes qui favorisent l'efficacité et font augmenter la production (par rapport à la situation qui prévalait avant l'existence du chemin de fer).

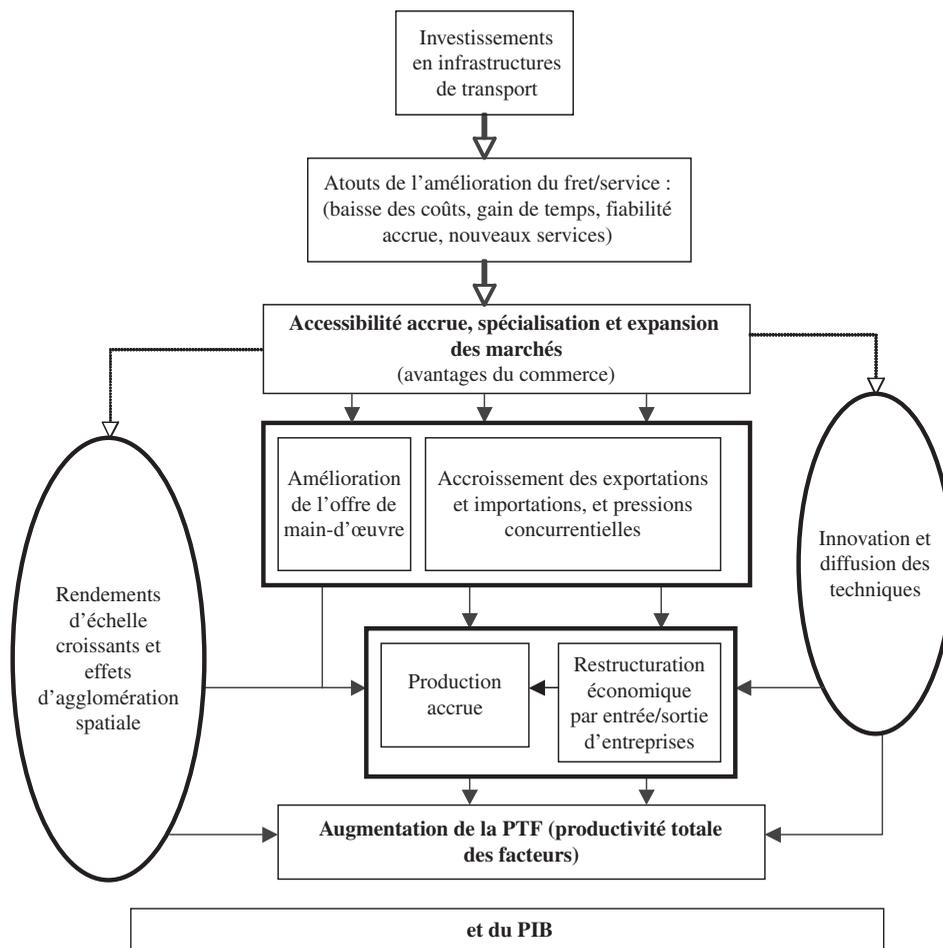
Au Brésil, les investissements ferroviaires ont servi à acquérir une spécialisation et à renforcer la productivité (Summerhill, 2005). Cet impact a été considérable pour ce qui est des transports terrestres, étant donné qu'il n'existait aucune autre solution à un prix raisonnable susceptible de se substituer au rail, lequel a ensuite entraîné de grands afflux de main-d'œuvre et de capitaux qui ont été utilisés dans d'autres activités et ont fait croître le revenu national. Dans le cas de l'Argentine, les retombées bénéfiques des chemins de fer, dont la construction a été financée par des capitaux britanniques, ont profité dans une large mesure aux producteurs et aux consommateurs argentins, elles ont accru les gains cumulés de productivité et transformé la pampa argentine (Summerhill, 2001). Les améliorations de la PTF résultant de l'existence de réseaux ferrés en Espagne ont été substantielles, tant en raison du transfert modal au profit du rail que grâce aux améliorations de la productivité dans les réseaux ferroviaires eux-mêmes.

Une analyse beaucoup plus complète des impacts économiques plus larges des chemins de fer a été effectuée dans le cadre d'une étude sur les investissements ferroviaires aux États-Unis au 19<sup>ème</sup> siècle (Fishlow, 1965, Chandler 1965). On ne peut ici que sélectionner des exemples dans la liste d'effets économiques en cascade qui ont découlé des économies de coûts et des gains de temps dus à l'expansion des chemins de fer au 19<sup>ème</sup> siècle, d'abord du Nord-Est des États-Unis vers le Middle West, et ultérieurement dans le reste du pays. Au fur et à mesure que la baisse des coûts et l'accessibilité accrue grâce au chemin de fer se propageaient et bénéficiaient aux différents acteurs sur les marchés (producteurs, consommateurs, travailleurs), les incidences économiques se sont succédées. Parmi ces conséquences économiques en cascade, on peut notamment relever les suivantes : l'extension des établissements humains et le développement de l'agriculture ; l'expansion et l'intégration des marchés ; la spécialisation régionale dans l'agriculture et l'industrie ; la diffusion de la production de masse et la réalisation d'économies d'échelle ; la possibilité de réduire les stocks conjuguée à une révolution dans la logistique et à l'apparition de la vente en gros ; la nécessité de puiser dans l'épargne dormante et de la mobiliser vers l'investissement ferroviaire, induisant ainsi la création d'institutions financières et l'augmentation du taux d'épargne ; la diffusion des techniques de production en grande série (par exemple la production de masse de produits comportant des pièces interchangeables fabriquées en Nouvelle Angleterre) pour produire en grandes quantités toute une gamme de produits ; le lancement des services de communication complémentaires (service postal) ; et enfin, l'intégration du Nord-Est et du Middle West pour former la région manufacturière appelée « i » (Chandler, 1965; Lakshmanan et Anderson, 2007; Kim et Margo, 2003).

#### 4. AVANTAGES ÉCONOMIQUES PLUS LARGES DES TRANSPORTS : VUE D'ENSEMBLE

La Graphique 3 représente schématiquement les mécanismes et les processus qui sous-tendent les avantages économiques plus larges des investissements dans les infrastructures de transport. Il s'agit de la version actuelle de ce que Williamson (1974) et O'Brien (1983) appellent des « effets d'entraînement en aval » produits par l'existence de ces infrastructures. La baisse des coûts et l'accessibilité accrue à la faveur des améliorations des transports modifient les coûts marginaux des transporteurs, la mobilité des ménages et la demande de biens et de services. Ces évolutions se disséminent par le jeu des mécanismes du marché et

Graphique 3. Infrastructures de transport et avantages pour l'ensemble de l'économie



endogénéisent l'emploi, la production et le revenu à court terme. Avec le temps, des *effets de développement dynamiques* sont occasionnés par les mécanismes mis en branle lorsque les améliorations des services de transport déclenchent de très divers processus imbriqués dans l'ensemble de l'économie et provoquent une série de répercussions sectorielles, géographiques et régionales qui accroissent le productivité globale.

La baisse des coûts et l'accessibilité accrue que procurent les améliorations des infrastructures et des services de transport élargissent les marchés où opèrent les entreprises utilisatrices des transports. Comme cette expansion établit des liens entre les économies de différentes localités et régions, l'une de ses principales conséquences est le passage de l'autarcie locale et régionale à la spécialisation et au commerce, avec l'essor de la productivité qui en résulte. Par conséquent, le réseau routier inter-États des États-Unis, les réseaux transeuropéens et les ports maritimes aux performances exceptionnelles contribuent tous à une croissance « smithienne » – générée par la spécialisation et le commerce.

De nouvelles possibilités d'exportation et d'importation de biens ouvrent plusieurs circuits par lesquels les effets économiques se répandent, tant sur les marchés de produits que sur les marchés de facteurs – à l'instar des résultats d'une baisse des droits de douane ou de l'élargissement d'une zone commerciale.

En premier lieu, l'augmentation des exportations fera augmenter la production, ce qui permettra de vendre davantage pour couvrir les coûts fixes d'exploitation, avec pour résultat l'efficacité. Deuxièmement,

des exportations croissantes exercent des pressions concurrentielles sur les prix intérieurs, qui aboutissent non seulement à l'élimination des rentes de monopole, mais aussi à une plus grande efficacité. La dynamique schumpetérienne entre en jeu – entrées, sorties d'entreprises, expansion et contraction. Au fur et à mesure que les entreprises privilégient des processus de production plus économes en ressources, qui abaissent les coûts de production et augmentent la productivité, la restructuration de l'économie se poursuit. Troisièmement, la réduction des coûts de transport et l'accessibilité accrue élargissent les marchés du travail et des autres facteurs de production. Il est probable que les entreprises engageront des effectifs dans un plus vaste périmètre et en fonction d'un plus grand nombre de critères, d'où une amélioration de l'offre de main-d'œuvre à moindre coût. Des effets semblables se produiront sans doute dans le foncier et sur d'autres marchés de facteurs, car les améliorations des transports donnent accès à de nouveaux terrains où implanter des activités économiques.<sup>6</sup>

Enfin, la Graphique 3 laisse à penser que les deux mécanismes indiqués dans les encadrés ovales, l'un concernant l'*innovation* et l'autre la *disposition spatiale*, créent dans le contexte de l'amélioration des infrastructures de transport, des conditions (dans des pôles d'activité) propices à l'amélioration des performances économiques, et qu'ils stimulent la productivité totale des facteurs ainsi que la croissance endogène. Nous nous inspirons, pour réfléchir à ces deux mécanismes, des recherches récentes sur les niches propices à l'innovation et la nouvelle économie géographique.

Les progrès des transports peuvent engendrer une croissance endogène dans la mesure où ils influent sur le taux de croissance de l'économie par la création et la commercialisation de nouveaux savoirs – ce qui favorise la croissance de la productivité totale des facteurs (PTF) et, partant, l'augmentation du *taux de croissance* de l'économie. Dans l'économie du savoir contemporaine, les entreprises s'intéressent à la réduction d'une nouvelle catégorie de coûts – ceux de type *adaptatif* – qu'elles engagent pour suivre l'évolution de la situation générale pour détecter les changements des technologies ou des produits, pour définir des stratégies concurrentielles et les appliquer assez rapidement, afin de préserver ou accroître leur part de marché (Hage et Alter, 1997 ; Lakshmanan et Button, 2008). Dans ce type de proximité géographique, l'essentiel tient au fait que l'innovation est le fruit des *économies de Jacobs* (1969) ou des *économies de variété* (Quigley, 1998) : les entreprises réduisent au minimum leurs coûts adaptatifs en participant à des réseaux économiques dans une grappe ou une agglomération d'activités – possibilité offerte par les améliorations des infrastructures de transport.

Les recherches sur la concurrence imparfaite et les rendements d'échelle croissants vont jusqu'à l'analyse géographique et mettent l'accent sur l'importance que revêtent les interactions entre les coûts de transport, d'une part, et la taille du marché et les économies d'échelle, de l'autre.<sup>7</sup> La baisse des coûts de transport et les économies d'échelle permettent à l'entreprise d'agrandir son marché et d'acquérir une position dominante, ce qui favorise ensuite la concentration d'autres entreprises dans le même lieu d'implantation. Cette idée selon laquelle un lieu offrant à une entreprise de bonnes conditions d'accès aux marchés et aux fournisseurs améliore aussi celles des autres producteurs qui s'y installent, et le processus de *causalité cumulative* (le lieu d'implantation devient de plus en plus intéressant pour les entreprises au fur et à mesure que leur nombre croît) découlent des thèses antérieures de l'économie géographique. La caractéristique fondamentale de cette théorie de l'agglomération (relevée de longue date dans les disciplines de l'économie géographique et de la science régionale) est l'existence d'économies d'échelle externes au sens marshallien du terme. Différentes entreprises regroupées en un même lieu bénéficient d'externalités positives sous la forme d'économies d'agglomération, de complexes industriels et de réseaux sociaux engagés dans des interdépendances non marchandes. Peu après, la spécialisation régionale se met en place. De fait, ce sont les rendements d'échelle croissants dus aux améliorations des transports qui expliquent la concentration géographique observée des entreprises et la spécialisation régionale au sein des économies régionales et nationales.

Dans les agglomérations spatiales contemporaines de l'activité économique – où les transactions entre fournisseurs et clients sont fréquentes, et où des services commerciaux haut de gamme vont souvent de pair avec la livraison de marchandises – les coûts de transaction sont sans doute moins élevés qu'à l'extérieur. De plus, certaines liaisons interrégionales tirent profit de l'existence des rendements croissants dans les

transports et les transactions, ce qui peut contribuer à la formation de plaques tournantes pour les transports et les transactions, comme l'a signalé Krugman (1999). Johansson (1998) et Ciccone et Hall (1996) ont utilisé les notions de *densité* (des activités économiques, des conditions propices à la vie sociale et des types de transactions possibles) et de *milieu économique* dont les effets de causalité se cumulent et s'autorenforcent dans ces pôles d'activité.

## 5. REMARQUES DE CONCLUSION

Notre analyse entend révéler comment les améliorations des infrastructures de transport et les progrès des transports eux-mêmes ouvrent des marchés et créent des conditions qui, dans un contexte d'agglomération spatiale ainsi que d'évolution et de diffusion des techniques, influent sur les structures et les performances de l'économie. Il se produit des interactions très diverses au sein même des entreprises et entre elles, à l'intérieur des différents secteurs et entre eux, de même que, plus généralement, au sein des ménages et des organisations, et entre eux. Ainsi, nous pouvons en conclure d'abord que *l'analyse de l'équilibre général des relations économie-transports revêt de l'importance*. La conséquence en est que nous devons étudier les répercussions des améliorations des transports en adoptant une approche d'équilibre général, prenant en compte les articulations à l'intérieur des secteurs et entre eux, secteurs qui se caractérisent par des besoins de transport, des atouts compétitifs et des marchés géographiques différents. Ces répercussions se font sentir dans le fonctionnement des marchés de produits et des marchés de facteurs (travail, foncier, etc.), ainsi que dans les évolutions technologiques et structurelles. Étant donné que ces interactions ne sont pas seulement nombreuses, multiformes et complexes, mais qu'elles peuvent aussi renforcer ou atténuer les incidences économiques initiales des améliorations des transports, nous préconisons de recourir à des méthodes plus désagrégées qu'actuellement dans les analyses futures des relations transports-économie.

## NOTES

1. Fernald (1999) affirme que la corrélation agrégée entre productivité et équipements publics traduit surtout la relation de cause à effet entre ces deux termes, et que le tassement de croissance de la productivité après 1973 est peut-être l'expression des tendances de l'investissement public dans cette période.
2. On constate généralement que les rendements que procurent les capitaux privés sont très faibles dans les pays en développement les plus pauvres, et que les rendements tendent lentement à décroître dans les pays industriels riches – parce qu'ils peuvent maintenir à la hausse le rythme de leur productivité marginale en engrangeant un capital humain considérable (Canning et Bennathan, 2000). Il est compréhensible également que les taux de rendement des capitaux privés soient supérieurs dans les nouveaux pays industriels à revenu intermédiaire (NPI), qui ont bénéficié ces dernières années d'un afflux massif d'investissements directs étrangers (et du transfert de technologies qui y est associé) émanant des pays développés, et qui sont parties prenantes dans le système de production mondial. Si l'on part de l'hypothèse selon laquelle les NPI ont investi dans les infrastructures de transport pour faciliter la participation à la production et aux échanges mondiaux, il est légitime de se demander si les taux de rendement élevés des routes revêtues observés dans ces pays témoignent d'une expansion des réseaux de transport jusqu'à atteindre la densité critique qui permet de réaliser l'intégration économique interrégionale, favorisant ainsi la spécialisation régionale et une croissance accélérée dans ces économies.
3. Il s'est produit une extension rapide des réseaux ferrés dans toute l'Europe – ils sont passés de 3 000 kilomètres de voies en 1840 à 362 000 kilomètres en 1913 (O'Brien, 1982). Les États-Unis et de nombreux pays d'Amérique latine, ainsi que l'Inde, ont connu un vif essor des chemins de fer dans une période comparable.
4. Un surcoût est occasionné parce que les marchandises sont alors acheminées par des itinéraires plus longs et en faisant des détours, à plus faible vitesse et en acquittant des tarifs plus élevés. Fogel (1964) est le premier à avoir formulé la question dans le cas des États-Unis et, par la suite, les économies pour la collectivité ont été calculées dans beaucoup de pays. Il peut se poser quelques problèmes de qualité des données ou d'hypothèses de prix dans ces estimations.
5. Les prix des céréales dans certains districts étaient de huit à dix fois plus élevés qu'ailleurs dans les années 1860 (Hurd, 1975).
6. Cependant, sur un marché intégré, l'accroissement de la production s'accompagne probablement de certains effets en retour qui risquent d'affaiblir les fortes incidences bénéfiques des améliorations des transports signalées ci-dessus. Étant donné que l'expansion de la production découlant de celle du marché fera croître la demande de main-d'œuvre et de terrains, les salaires et les loyers augmenteront, et compenseront partiellement l'abaissement initial des coûts et des gains de compétitivité. La hausse des salaires, si elle persiste, entraînera des migrations. Enfin, la progression de la production risque de congestionner les réseaux, d'où une hausse des coûts de transport. En l'occurrence, il importe de faire bien comprendre que les progrès des transports déclenchent une série d'effets économiques et d'effets en retour sur plusieurs marchés interdépendants.

7. L'idée qui se trouve au cœur de la 'nouvelle économie géographique' est la notion de rendements croissants, et elle a transformé aussi bien la théorie des échanges que la théorie de la croissance (Fujita, Krugman, et Venables, 1999). En mettant à profit la formalisation théorique, par Dixit et Stiglitz (1977), de la concurrence monopolistique, des modélisations maniables de la concurrence en présence de rendements croissants ont été mises au point dans les domaines de l'organisation industrielle, des échanges internationaux, de la croissance économique et de la théorie de la localisation.

## RÉFÉRENCES

- Aschauer, D.A. 1989. "Is public expenditure productive?" *Journal of Monetary Economics*, vol. 23, 177-200.
- Canning, David et Esra Bennathan 2001. *The Social Rate of Return on Infrastructure Investments*, Projet de recherche de la Banque Mondiale sur le thème : "Infrastructure and Growth: A Multicountry Panel Study," 48 pages.
- Chandler, Alfred D. 1965. *The Railroads, the Nation's First Business*, Harcourt, Brace & World, Inc., New York.
- Collins, William J. 1999. "Labor mobility, market integration, and wage convergence in late 19<sup>th</sup> century India," *Explorations in Economic History*, 36, 246-277.
- Ciccone, A. et R.E. Hall 1996. "Productivity and density of economic activity," *American Economic Review*, 86: 54-70.
- Demetriades, Panicos et T.F. Mameneus 2000. "Intertemporal output and employment effects of public infrastructure capital: evidence from 12 OECD countries," *The Economic Journal*, 110, 687-712.
- Fernald, John G. 1999. "Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity," *The American Economic Review*, 89: 3, 619-638.
- Fishlow, Albert 1965. *American Railroads and the Transformation of the Ante-bellum Economy*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Fogel, Robert W. 1964. *Railroads and American Economic Growth: Essays in Econometric History*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Foreman-Peck, James 1991. "Railways and Late Victorian Economic Growth" in *New Perspectives in the Late Victorian Economy, 1860-1914*, (Dir. de publ.) James Foreman-Peck, Cambridge University Press, 73-95.
- Fujita, M., Paul Krugman et A.J. Venables 1999. *The Spatial Economy*, The M.I.T. Press. Cambridge, MA.
- Hage, J. et C. Alter 1997. "A Typology of Interorganizational Relationships and Networks" in *Contemporary Capitalism*, (Dir. de publ.) J.R. Hollingsworth et R. Boyer, New York; Cambridge University Press. 94-126.
- Haughwout, A.F. 1998. "Aggregate production functions, interregional equilibrium, and the measurement of infrastructure productivity," *Journal of Urban Economics*, 44: 216-227.
- Herraz-Loncan, Alfonso 2006. "Railroad impact in backward economies: Spain, 1850-1913," *The Journal of Economic History*, 66, 853-881.

- Hurd II, John 1975. "Railways and the expansion of markets in India, 1861-1921," *Explorations in Economic History*, 12, 263-288.
- Jacobs, Jane 1969. *The Economy of Cities*. New York: Random House.
- Kim, S. et R.A. Margo 2003. "Historical perspectives in U.S. economic geography" in *Handbook of Regional and Urban Economics* (Dir. de publ.) V. Henderson et J-F. Thisse, Vol. 4. North-Holland, New York.
- Lakshmanan, T.R. et K.J. Button 2008. (à paraître) "Institutions and Regional Economic Development" in *Advances in Regional Economics* (Dir. de publ.) R. Cappello et P. Nijkamp.
- Lakshmanan, T.R., et William P. Anderson 2002. *Transport Infrastructure, Freight Services Sector and Economic Growth*: Livre Blanc préparé pour le Ministère des Transports des États-Unis, janvier. 127 pages.
- Lakshmanan, T.R., et William P. Anderson 2007. « Rôle des transports publics dans le processus d'intégration régionale » in *Accès au marché, commerce des services de transport et facilitation des échanges*, Table Ronde 134. Paris: OCDE-CEMT, 45-71.
- Metzer, Jacob 1974. "Railroad development and market integration: The case of tsarist Russia," *The Journal of Economic History*, 34, 529-550.
- Metzer, Jacob 1984. "Railroads and the efficiency of internal markets: Some conceptual and practical considerations," *Economic Development and Cultural Change*, 33, 61-70.
- Nadiri, Ishaq M. et T. P. Mamuneas 1996. *Constitution of Highway Capital to Industry and National Productivity Groups*. Rapport préparé pour la FHWA. Office of Policy Development.
- O'Brien, Patrick 1983. "Transport and Economic Development in Europe, 1789-1914" in *Railways and the Economic Growth of Western Europe*, (Dir. de publ.) Patrick O'Brien, 1-27, Londres: Macmillan.
- Quigley, John M. 1998. "Urban diversity and economic growth," *The Journal of Economic Perspectives*, 12:2, 127-138.
- Summerhill, William R. 2005. "Big social savings in a small laggard economy: Railroad-led growth in Brazil," *The Journal of Economic History*, 65, 72-102.
- Summerhill, William R. 2005. "Profit and Productivity on Argentine Railroads, 1857-1913", Los Angeles: Département d'histoire de l'Université de Los Angeles (UCLA) (document non publié).
- Williamson, Jeffrey G. 1974. *Late Nineteenth-Century American Development: A General Equilibrium History*. Londres : Cambridge University Press.

**LES AVANTAGES ÉCONOMIQUES AU SENS LARGE DES INVESTISSEMENTS  
DANS LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT**

**Jeffrey P. COHEN, Ph.D.  
Barney School of Business  
University of Hartford  
West Hartford, CT  
États-Unis**



## SOMMAIRE

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCTION .....                 | 80 |
| 2. JUSTIFICATION.....                 | 80 |
| 3. CONTEXTE GÉNÉRAL.....              | 83 |
| 4. L'ÉCONOMÉTRIE SPATIALE .....       | 85 |
| 4.1. L'autocorrélation spatiale ..... | 85 |
| 4.2. Le décalage spatial.....         | 89 |
| 5. APPLICATIONS.....                  | 90 |
| 6. CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS ..... | 95 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....      | 98 |

West Hartford, août 2007



## RÉSUMÉ

Le présent document commence par justifier la nécessité de prendre en compte « les effets économiques au sens large » lorsqu'on procède à une appréciation des infrastructures de transport, et se poursuit par une analyse des diverses techniques permettant de le faire. Il examine principalement les études réalisées sous l'angle de la fonction de coût qui incorporent les effets de débordement positifs (*spillover*) du capital d'infrastructures publiques et présente des applications sur les stocks d'infrastructures routières, aéroportuaires et portuaires. Il évalue les différences substantielles entre les approches privilégiant les impacts « au sens étroit » ou « au sens large », et analyse la façon dont l'application des outils de l'économie spatiale a facilité l'estimation de modèles qui rendent compte des avantages économiques au sens large.

## 1. INTRODUCTION

De nombreuses études essaient de quantifier les effets des infrastructures publiques sur l'économie des États-Unis depuis les années 80. Ces études débouchent sur des conclusions très diverses faisant état d'effets largement positifs, peu positifs, ou négatifs. Les recherches récentes sur les impacts du capital d'infrastructures publiques ont commencé à intégrer des évaluations des effets positifs et négatifs des débordements au-delà des frontières géographiques. Cette révolution de la discipline survient approximativement dans le même temps que l'affirmation de l'économétrie spatiale, qui a facilité le développement de cette branche de la littérature consacrée aux infrastructures.

Les récents progrès accomplis n'empêchent pas qu'on pourrait aller plus loin, même si cela peut dépendre de la disponibilité des données. Il faudrait disposer de données détaillées sur le prix des intrants au niveau sectoriel pour pouvoir appliquer à des secteurs autres que le secteur manufacturier les approches adoptées dans des études récentes de fonction de coût. Une autre méthode à explorer est la modélisation des débordements transfrontaliers dans un cadre d'équilibre général qui prenne en compte les consommateurs et les entreprises.

Je commencerai ici par introduire et justifier la nécessité d'intégrer les effets économiques au sens large des infrastructures de transport dans les études des impacts du capital d'infrastructures publiques. Dans le contexte du présent document, l'expression effets « au sens large » signifie les avantages obtenus au-delà de la région géographique dans laquelle l'investissement est entrepris. Je décrirai ensuite plusieurs techniques utilisées dans la littérature pour mesurer ces avantages « au sens large » (ou effets de débordement positifs) en précisant en quoi elles diffèrent des méthodes de mesure des avantages à l'échelon local, pour une série de types d'infrastructures de transport en général. Ces techniques incluent les débordements (ou décalages) spatiaux et l'autocorrélation spatiale, qu'on peut traiter avec les outils empiriques de l'économétrie spatiale. Je décrirai ensuite les résultats d'un certain nombre d'études de la littérature sur les autoroutes, les aéroports, les ports, et diverses combinaisons de plusieurs types d'infrastructures de transport. Enfin, j'aborderai les prolongements et les travaux futurs possibles dans ce domaine, y compris les recherches en cours et les sources de données qui pourraient être utiles pour examiner ces questions.

## 2. JUSTIFICATION

Le recours aux principes économiques (l'analyse de l'offre et de la demande) est éclairant pour justifier l'étude des effets de débordements des infrastructures de transport. Considérons une entreprise manufacturière moyenne à New York. La quantité de biens produits par cette entreprise à l'équilibre est donnée par l'intersection de ses courbes d'offre et demande. Quels sont les facteurs qui entraîneront un déplacement de ces courbes ? En ce qui concerne la courbe de l'offre, il pourra s'agir d'une baisse du coût des « intrants » (comme les salaires, ou le coût des machines ou des équipements privés), toutes choses restant constantes par ailleurs. Une autre cause potentielle de déplacement de l'offre est l'apparition d'un progrès technique. Enfin, une « retombée » positive (ou débordement positif) peut déplacer la courbe de l'offre vers la droite.

Un débordement positif a lieu quand les actions d'autres agents procurent des avantages à un individu qui ne fournit lui-même aucune compensation pour les avoir reçus. Par exemple, l'amélioration du réseau routier du Connecticut pourra faire diminuer le temps de trajet des salariés allant du Connecticut à New York pour y travailler, ce qui devrait faire augmenter la productivité des travailleurs à New York. De façon analogue, on escomptera une baisse du coût de transport de biens à partir de New York, si le Connecticut améliore son réseau routier, et c'est là un autre biais par lequel cette amélioration aura des effets de débordement positifs pour les entreprises de New York. La différence essentielle entre les routes du Connecticut et celles de New York est que les routes du Connecticut peuvent ne pas être financées par les entreprises de New York. Même si le Gouvernement fédéral finance une partie des infrastructures autoroutières, les routes des États sont financées en grande partie (indirectement) par les résidents et les entreprises, et non par les habitants d'autres États qui les empruntent régulièrement.

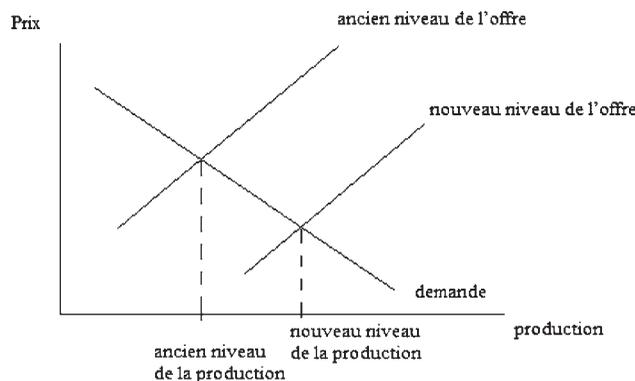
Par conséquent, quand le Connecticut augmente son stock d'infrastructures publiques, il déplace la courbe de l'offre des entreprises de New York vers la droite (voir Graphique 1). Le nouveau niveau d'équilibre de la production à New York est maintenant supérieur à ce qu'il était auparavant. Dans notre analyse, le nombre de travailleurs employés à New York reste inchangé, ce qui fait que la production par travailleur, ou productivité, augmente.

Les chercheurs emploient implicitement un raisonnement analogue pour expliquer l'impact qu'ont les infrastructures publiques dans une région géographique particulière sans tenir compte de l'impact des débordements transfrontaliers. La littérature consacrée aux infrastructures publiques se préoccupe donc souvent de déterminer l'accroissement de la productivité quand le stock d'infrastructures publiques augmente. En d'autres termes, quelle est l'ampleur du déplacement de la courbe de l'offre ainsi que du changement de production concerné quand le stock d'infrastructures publiques augmente ?

Les travaux empiriques se sont d'abord concentrés sur des données nationales avec l'approche par la fonction de production d'Aschauer (1989). Cette étude a constaté que l'effet des infrastructures sur la productivité était considérable. Des études postérieures, comme celle de Munnel (1990), ont évalué des données au niveau des États (Munnel), puis ont porté sur l'impact des infrastructures en terme de coûts (Morrison et Schwartz, 1996 ; Nadiri et Mameanus, 1994). Ces travaux ultérieurs ont obtenu un éventail d'élasticités des infrastructures plus raisonnable que les conclusions initiales d'Aschauer. Les résultats des études de fonction de coût ne sont pas directement comparables aux études antérieures de fonction de production, mais on pense que les résultats des deux types de fonctions devraient être à peu près en phase.

La plupart des ces études négligent toutefois un aspect important des infrastructures publiques. La structure en réseau de nombreux types d'infrastructures publiques pourrait impliquer qu'elles confèrent des avantages aux individus au-delà de L'État ou de la localité où se situe l'infrastructure. Par ailleurs,

**Graphique 1. Évolution de la production d'équilibre après augmentation du stock d'infrastructures publiques d'une localité voisine**

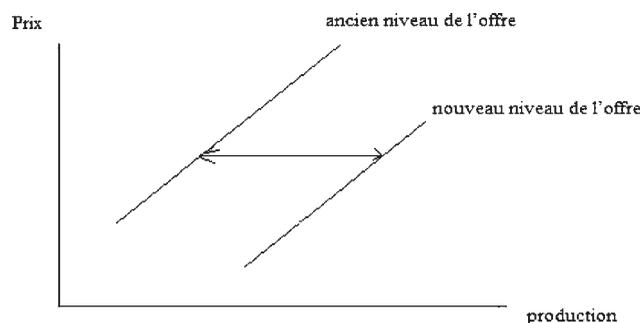


l'amélioration des infrastructures dans un territoire donné peut aider les entreprises des localités voisines à détourner les ressources les plus productives, ce qui peut être préjudiciable aux entreprises du territoire dont les infrastructures ont été améliorées. Ces effets de réseau (positifs et négatifs) pourraient avoir des conséquences importantes pour les élasticités des infrastructures, conséquences qu'il serait opportun d'examiner dans des études sur les infrastructures au niveau de l'État ou du comté. Le présent document porte surtout sur la recherche, menée en grande partie depuis la fin des années 90, sur les effets de débordement spatial du capital d'infrastructures publiques.

Il est à noter à ce stade que la plupart des études sur la productivité des infrastructures s'inscrivent dans un contexte d'équilibre partiel. Haughwout (2002) constitue une exception en la matière. Il effectue des estimations sur un modèle d'équilibre général de la production et de la consommation, où les infrastructures publiques sont un bien public local pour plusieurs grandes villes des États-Unis. Il observe que les infrastructures publiques sont bénéfiques pour les entreprises et les consommateurs, mais qu'une importante expansion du capital d'infrastructures serait dommageable pour eux. Toutefois, le modèle de Haughwout n'intègre pas les effets de débordement spatial entre villes des infrastructures publiques, alors qu'il serait opportun d'estimer les avantages nets de ce type de modèle de débordement dans un cadre d'équilibre général.

Contrairement à celle de Haughwout, la plupart des études s'inscrivant dans un contexte d'équilibre partiel ne tiennent pas compte de l'impact de la courbe de demande sur les modifications de l'équilibre de la production provenant des infrastructures publiques. En d'autres termes, les chercheurs se préoccupent en fait de l'amplitude du déplacement de la courbe de l'offre vers la droite du fait de l'amélioration des infrastructures publiques (Graphique 2), par comparaison avec le changement du niveau d'équilibre de la production résultant du déplacement de la courbe d'offre (Graphique 1). Cela revient à supposer que la courbe de la demande est plate. Il peut ainsi y avoir une surestimation de l'impact des infrastructures publiques dans les études impliquant un équilibre partiel, si l'on suppose que la « vraie » courbe de demande privée descend vers le bas. Un autre domaine que les recherches consacrées aux infrastructures auraient avantage à approfondir concerne les avantages au sens large conférés à d'autres secteurs, traités par Lakshmanan *et al.* (2007). Les études qui ne tiennent pas compte de ces avantages peuvent sous-estimer l'impact des investissements dans les infrastructures publiques. Au total, l'effet net est inconnu, mais il faudrait le déterminer de manière empirique. La description de modèles sous-tendus par cette approche d'équilibre général dépasse l'objet du présent document, mais ils sont intéressants et le lecteur est invité à se reporter à Lakshmanan *et al.* (2007) pour plus de précisions.

Graphique 2. **Évolution de l'offre après augmentation du stock d'infrastructures publiques d'une localité voisine**



### 3. CONTEXTE GÉNÉRAL

Les chercheurs emploient au moins deux méthodes pour essayer de quantifier les changements de productivité dus à une augmentation des investissements dans les infrastructures des territoires administratifs voisins d'un territoire donné. L'une est l'approche par la fonction de production, qui intègre le stock d'infrastructures des territoires voisins comme un facteur de « déplacement » de la fonction de production. Cette méthode nécessite des données de panel (données transversales et séries chronologiques) sur la quantité de production (Y), la main-d'œuvre (L), d'autres facteurs « variables » comme les produits bruts (M), le stock de facteurs fixes comme les stocks de capital privé (K), et des mesures des stocks de capital public pour la localité (I) et la localité voisine (G).

La fonction de production des premières études sur les infrastructures qui ne tiennent pas compte des débordements territoriaux pourrait s'écrire (en notation vectorielle) comme le produit de deux fonctions :

$$Y = h(I) f(K, L, M) + u, \quad (1)$$

où  $u$  est un terme d'erreur stochastique, en général implicitement supposé avoir les propriétés désirables d'une moyenne nulle, d'une variance constante et d'une corrélation nulle entre observations. Des violations de la dernière de ces hypothèses peuvent produire des estimations inefficaces des paramètres, auquel cas leur signification statistique sera sous-estimée. La partie consacrée à l'autocorrélation spatiale ci-dessous traitera ce problème éventuel. La fonction de production de l'équation (1) tient compte du fait que les infrastructures déplacent cette fonction.

Les études de fonction de production plus récentes qui intègrent les débordements spatiaux entre territoires (comme Boarnet, 1998) font intervenir une fonction de production plus générale, telle que :

$$Y = h(I, G) f(K, L, M) + u \quad (2)$$

Dans cette spécification, les infrastructures du territoire et des territoires voisins peuvent induire un déplacement de la fonction de production.

Une autre méthode, souvent qualifiée d'approche par la fonction de coût, repose sur la théorie de la dualité. Cette théorie (Varian, 1992) nous dit que si nous supposons que les entreprises minimisent leurs coûts, cette minimisation des coûts représente essentiellement le même problème que la maximisation des profits (qui se fonde sur la fonction de production). L'approche par la fonction de coût est attirante, car elle intègre un comportement d'optimisation de la part des entreprises, et elle estime une fonction de coût implicite de forme réduite. Cette approche nécessite des informations sur le prix des facteurs (comme  $P_{LP}$ , le salaire des travailleurs pour la production ;  $P_{LN}$ , celui des travailleurs hors production ; et  $P_M$ , le prix des matières premières) ; le stock de facteurs fixes (comme le capital privé K) et leur prix associés ( $P_K$ ) ; la production (Y) ; et des mesures séparées des stocks d'infrastructures du territoire étudié (I) et des autres territoires (G). Le modèle de fonction de coût total (TC) qui ne tient pas compte des effets de débordements entre territoires des infrastructures (comme celui de Morrison et Schwartz, 1996) peut s'écrire de la façon suivante :

$$TC = VC(Y, P_{LP}, P_{LN}, P_M, K, I, t) + P_K K + u, \quad (3)$$

où  $VC(\cdot)$  est la fonction de coût variable et  $t$  est un compteur de « temps » représentant le passage du temps.

L'incorporation, des infrastructures des territoires voisins (G), comme dans Cohen et Morrison Paul (2004), donne :

$$TC = VC(Y, P_{LP}, P_{LN}, P_M, K, I, G, t) + P_K K + u \quad (4)$$

Une règle utile (appelée le lemme de Shepard), qui est un cas spécial du théorème de l'enveloppe (voir Varian, 1992), énonce que la dérivée de VC par rapport à chacun des prix des intrants donne une fonction de la demande de cet intrant particulier. Par exemple, pour la main-d'œuvre pour la production ( $L_p$ ),

$$LP = \partial VC(\cdot) / \partial P_{LP} \quad (5)$$

Les méthodes de la fonction de coût et de la fonction de production font intervenir l'analyse de régression pour estimer les paramètres permettant d'obtenir l'élasticité des variables des infrastructures. L'approche par la fonction de coût implique de dériver une fonction de demande d'intrant similaire à (5) pour chacun des facteurs variables et d'ajouter à chacune de ces équations un terme d'erreur stochastique. On estime ensemble ces demandes d'intrants et la fonction de coût variable par la méthode SUR (*Seemingly Unrelated Regression*).

Lorsqu'on veut évaluer les débordements positifs, la méthode de la fonction de production sert à obtenir des estimations de l'élasticité de la production par rapport aux infrastructures des territoires voisins :

$$\varepsilon_{Y,G} = [\partial Y / \partial G][G/Y] \quad (6)$$

L'analyse en termes de fonction de coût visera, pour évaluer les avantages au sens large des infrastructures, à estimer l'élasticité des coûts variables par rapport aux infrastructures des territoires voisins :

$$\varepsilon_{VC,G} = [\partial VC / \partial G][G/VC] \quad (7)$$

Quand les chercheurs comparent les résultats des études de fonction de production avec ceux des fonctions de coût, ils tendent à comparer les élasticités (6) et (7) respectivement. Cette comparaison n'est toutefois pas tout à fait valable dans la mesure où (6) montre l'impact des infrastructures des territoires voisins sur la production, alors que (7) montre les effets de ces infrastructures sur les coûts variables.

On peut aussi écrire (7) comme la valeur « hypothétique » des stocks d'infrastructures publiques des localités voisines ( $Z_G$ ), car elle révèle la façon dont les infrastructures des localités voisines affectent les coûts variables d'une localité :

$$Z_G = [\partial VC / \partial G] \quad (8)$$

Si  $Z_G < 0$ , les infrastructures publiques des territoires voisins peuvent être considérées comme créatrices de « valeur » pour les entreprises d'un territoire donné dans la mesure où les coûts variables baissent, lorsque le stock d'infrastructures publiques des territoires voisins augmente.

La méthode de la fonction de coût permet aussi un examen d'autres élasticités révélatrices qui donneront des informations sur les avantages au sens large des infrastructures publiques. Par exemple, l'élasticité de la demande de main-d'œuvre par rapport aux infrastructures des territoires voisins, qui est, pour la main-d'œuvre affectée à la production (LP) (à partir des résultats de l'équation (5), fondée sur le lemme de Shepard) :

$$\varepsilon_{LP,G} = \partial L_p / \partial G = \partial(\partial VC(\cdot)) / \partial P_{LP} \partial G \quad (9)$$

Et l'élasticité de la valeur « hypothétique » des infrastructures des territoires voisins par rapport à celles d'un territoire donné s'écrit :

$$\varepsilon_{G,I} = [\partial Z_G / \partial I][I/Z_G] \quad (10)$$

Cette élasticité de la valeur hypothétique (10) est utile pour déterminer, si les infrastructures des territoires voisins d'un territoire donné sont des substituts du stock d'infrastructures de ce territoire, ou si elles lui sont complémentaires. Si l'augmentation du stock d'infrastructures d'un territoire donné fait monter la valeur des infrastructures des territoires voisins, ces infrastructures sont complémentaires. À l'inverse, si l'augmentation du stock d'infrastructures d'un territoire donné fait baisser la valeur des infrastructures des territoires voisins, elles sont des substituts les unes des autres. L'élasticité trouvée peut avoir d'importantes implications pour les politiques de coordination des infrastructures régionales.

L'estimation de ces élasticités étant clairement un objectif de l'analyse, une question importante sera de savoir comment construire les stocks d'infrastructures « voisines », de tester et éventuellement d'adapter le modèle pour l'autocorrélation spatiale, et d'estimer les équations qui en résulteront. Tel est le sujet de la section qui va suivre sur l'économétrie spatiale.

## 4. L'ÉCONOMÉTRIE SPATIALE

L'économétrie spatiale (Cliff et Ord, 1981, Anselin, 1981) connaît une vogue croissante depuis 25 ans mais n'a été appliquée que récemment au domaine des études sur les infrastructures. L'économétrie spatiale a deux aspects, communément appelés autocorrélation spatiale et décalages spatiaux (Kelejian et Prucha, 1999).

### 4.1. L'autocorrélation spatiale

L'autocorrélation spatiale intervient quand le terme d'erreur d'une localité dans la régression dépend des chocs ou des innovations des localités « voisines », au lieu d'être normalement distribué avec une moyenne nulle, une variance constante et des covariances nulles dans le temps et l'espace. L'autocorrélation spatiale implique des interdépendances entre différentes localités et les chercheurs peuvent généralement la prendre en compte après avoir appliqué une procédure générant une estimation de son amplitude. Le mot « voisines » est entre guillemets, parce qu'il n'implique pas nécessairement la contiguïté géographique. Il pourrait impliquer que des localités sont semblables (ou dissemblables) sur d'autres points, comme le revenu moyen des résidents, le volume du commerce entre les différentes localités ou d'autres caractéristiques démographiques.

Mathématiquement, l'autocorrélation spatiale est représentée sous la forme suivante :

$$u_i = \lambda \sum_j w_{ij} u_j + \gamma_i \quad (11)$$

ou, en notation vectorielle,

$$u = \lambda Wu + \gamma \quad (11')$$

Dans l'équation (11),  $u_i$  est le terme d'erreur pour la localité  $i$ ,  $\lambda$  est le coefficient d'autocorrélation spatiale,  $w_{ij}$  est le poids que le terme d'erreur de la localité  $j$  a sur celui de la localité  $i$  (noté  $W$  en notation matricielle), et  $\gamma_i$  est le terme d'erreur de la localité  $i$  doté des propriétés « désirables » (décrites plus loin). Selon la méthode d'estimation de  $\lambda$ , les chercheurs attribuent des hypothèses différentes à la distribution de  $\gamma_i$ . La méthode des moments généralisés (GM) de Kelejian et Prucha (1999) suppose que  $\gamma_i$  est indépendamment et identiquement distribué avec une moyenne nulle, une variance constante et des covariances nulles entre observations. L'autre méthode communément adoptée, connue sous le nom d'estimation du maximum de

vraisemblance (ML) (Anselin, 1981), suppose la normalité de  $\gamma_i$ , ainsi que les mêmes hypothèses de moyenne nulle, de variance constante et de covariances nulles.

Avant de pouvoir procéder à l'estimation, les chercheurs doivent choisir les spécifications des pondérations spatiales  $w_{ij}$ . Une méthode courante consiste à choisir des pondérations de contiguïté par lesquelles tous les territoires qui sont contigus à un territoire donné sont pondérés de façon égale. En d'autres termes,

$$\begin{aligned} w_{ij} &= 1/c \text{ si } j \text{ est contigu à } i \\ &= 0 \text{ dans le cas contraire,} \end{aligned} \quad (12)$$

où  $c$  est le nombre total des territoires contigus à  $i$ .

D'autres approches, comme celle de Boarnet (1998), spécifient des structures de pondération spatiale plus compliquées. En voici un exemple courant :

$$w_{ij} = [1/|D_i - D_j|] / [1/\sum_j |D_i - D_j|] \quad (13)$$

Dans cette spécification des pondérations,  $D_i$  et  $D_j$  peuvent représenter des variables démographiques, comme la population, le revenu par habitant ou autres (Boarnet, 1998). Intuitivement, cela donne plus de poids aux territoires qui sont « semblables » entre eux et moins à ceux qui sont « dissemblables ». Comme deux territoires ( $i$  et  $j$ ) semblables en termes d'informations démographiques auront des valeurs de  $D_i$  et  $D_j$  relativement proches, l'inverse de la valeur absolue de leur différence sera un nombre élevé, donc le territoire  $j$  aura un plus grand poids sur le territoire  $i$ . Le terme impliquant l'addition dans le dénominateur est une normalisation garantissant que  $\sum_j w_{ij} = 1$ .

L'étape qui suit la spécification des pondérations spatiales est l'estimation. Les chercheurs estiment souvent la fonction de production ou la fonction de coût (avec les équations associées de demande d'intrants) et effectuent un test d'autocorrélation spatiale (comme le test  $I$  de Moran). L'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation spatiale étant supposée rejetée, l'étape suivante sera de trouver la méthode d'estimation appropriée de  $\lambda$ . Une méthode consistera à tester si les résidus ajustés sont normalement distribués, à l'aide d'un test de normalité (comme celui de Jarque-Bera). Si la normalité est rejetée, on adoptera la méthode des moments généralisés pour estimer de façon appropriée  $\lambda$ , ou sinon la méthode d'estimation du maximum de vraisemblance. Finalement, après avoir obtenu une estimation de  $\lambda$ , on utilisera cette estimation pour opérer une transformation spatiale de Cochrane-Orcutt (analogue à une transformation de Cochrane-Orcutt pour les séries chronologiques) avant d'estimer de nouveau le système une fois transformé.

Pour démontrer ce processus, considérons la fonction de production  $Y = h(I,G)f(K,L)$ , que nous réécrivons comme suit :

$$Y = X\beta + u, \quad (14)$$

où  $X$  représente une matrice des variables explicatives ( $I,G,K,L$ ),  $\beta$  est un vecteur de paramètres à estimer (et à employer ensuite pour obtenir les élasticités des infrastructures), et  $u$  est tel que représenté dans le processus d'erreur d'autocorrélation spatiale décrit plus haut en (11'). Le développement de l'équation (14) à l'aide de l'équation (11') donne :

$$Y = X\beta + \lambda Wu + \gamma \quad (15)$$

Et, puisque nous pouvons réécrire l'équation de la fonction de production comme suit :

$$u = Y - X\beta, \quad (14')$$

la multiplication des deux côtés par  $\lambda W$  donne :

$$\lambda W u = \lambda W Y - \lambda W X \beta, \quad (14'')$$

Et, en intégrant ce résultat dans l'équation (15) ci-dessus,

$$Y = X\beta + \lambda W Y - \lambda W X \beta + \gamma \quad (15')$$

on réécrit:

$$Y - \lambda W Y = X\beta - \lambda W X \beta + \gamma \quad (15'')$$

ou

$$Y^* = (X^*) \beta + \gamma \quad (16)$$

où  $Y^* \equiv Y [I_N - \lambda W]$ ,

$$X^* \equiv X [I_N - \lambda W]$$

et  $I_N$  est une matrice d'identité de N par N (où N est le nombre d'observations de l'échantillon).

Une fois qu'on a obtenu des estimations de paramètres pour  $\lambda$  et qu'on les a intégrées dans l'équation (16) ci-dessus, l'équation d'estimation qui en résulte a un terme d'erreur ( $\gamma$ ) qui ne présente pas d'autocorrélation spatiale et qui livre donc des estimations de paramètres efficaces pour l'élasticité de la production ou celle des coûts par rapport aux infrastructures (qu'elles soient situées dans le territoire étudié ou dans les territoires voisins).

Il existe un certain nombre de raisons réelles ou potentielles pour lesquelles on peut penser qu'un modèle va présenter une autocorrélation spatiale. Cela peut tenir à l'omission de variables qui varient de façon spatiale, à des décisions dans un territoire pouvant être prises pour des entités situées dans d'autres territoires, voire à des chocs communs qui débordent au-delà des limites géographiques. On peut en citer comme exemple les aléas climatiques et leur impact sur les coûts ou les processus de production des entreprises. Un « choc » climatique (comme une tempête ou un épisode de canicule) frappant certains États et y ayant un impact sur la production ou les coûts pourra avoir un effet de débordement sur un État voisin. Il peut ainsi exister une certaine persistance sur l'espace géographique qui peut induire une autocorrélation spatiale.

Le fait d'ignorer l'autocorrélation spatiale peut entraîner des estimations de paramètres avec des erreurs types plus fortes qu'en l'absence d'autocorrélation spatiale. Ces erreurs types plus fortes peuvent réduire de façon indue les statistiques t. En d'autres termes, l'absence de prise en compte d'une autocorrélation spatiale significative peut avoir un impact sur le test des hypothèses, car les chercheurs peuvent ne pas rejeter une hypothèse nulle qui soit en fait une hypothèse vraie. Dans le contexte des infrastructures, ignorer l'autocorrélation spatiale peut conduire les chercheurs à accepter de façon erronée une hypothèse nulle selon laquelle l'élasticité des infrastructures est égale à zéro.

Une des premières études connues sur les infrastructures ayant traité de l'autocorrélation spatiale est Kelejian et Robinson (1997). Ces auteurs estiment une fonction de production de Cobb-Douglas et intègrent un ajustement d'autocorrélation spatiale dans leur modèle tout en prenant soin d'essayer de nombreuses autres spécifications. Ils observent qu'il peut y avoir une large gamme d'estimations des élasticités des infrastructures, selon la spécification économétrique employée par les chercheurs.

Deux études postérieures obtiennent des preuves moins convaincantes de la présence d'une autocorrélation spatiale. Holtz-Eakin et Schwartz (1995) testent ainsi l'autocorrélation spatiale, mais ne trouvent pas de

preuve de sa présence dans leur modèle. Boarnet (1998) ne trouve pas de preuve que la prise en compte de l'autocorrélation spatiale affecte le signe et la signification des estimations des élasticités des infrastructures de son modèle.

La forme d'autocorrélation spatiale de l'équation (11) est analogue à un processus autorégressif de série chronologique de premier ordre. Tout comme les publications économétriques font état de processus de séries chronologiques plus compliqués, celles qui sont consacrées aux infrastructures présentent maintenant des processus spatiaux plus compliqués pour tenir compte de formes plus générales d'autocorrélation spatiale. Cohen et Morrison Paul (2007) traitent le problème de l'autocorrélation spatiale d'un ordre plus élevé dans le contexte de l'évaluation des impacts des infrastructures de transport sur les coûts de fabrication. Ils envisagent des formes de processus spatial plus générales, comme :

$$u_i = \sum_m \lambda_m \sum_j w_{m,i,j} u_j + \gamma_i \quad (17)$$

où  $m$  représente l'« ordre » conféré au voisin. L'équation (17) est semblable à l'équation (11) mais plus générale qu'elle, puisque  $w_{m,i,j}$  représente le poids que l'État  $j$  a sur l'État  $i$  dans la zone voisine  $m$ . Et  $\lambda_m$  est le paramètre d'autocorrélation spatiale pour l'impact de la moyenne pondérée des erreurs dans la zone voisine  $m$  sur le terme d'erreur de l'État  $i$ . Pour prendre un exemple au niveau des États en employant des matrices de pondération de la contiguïté, New York, le Connecticut, Rhode Island, le New Hampshire, et le Vermont sont des voisins de premier ordre ( $m=1$ ) pour le Massachusetts ; le New Jersey, le Maine et la Pennsylvanie sont des voisins de second ordre ( $m=2$ ) pour cet État, etc. Une telle structure d'erreur tient compte d'interactions plus complexes entre termes d'erreur pour les États (ou autres unités géographiques), de sorte que, dans l'exemple précédent, des chocs touchant le New Jersey, le Maine et la Pennsylvanie pourraient déborder sur le Massachusetts, alors que ce ne serait pas le cas avec la matrice de voisinage contigu de premier ordre. Du fait qu'on attribue un coefficient d'autocorrélation spatiale distinct à des voisins d'ordre différent, les modèles d'autocorrélation spatiale d'ordre plus élevé peuvent montrer que les chocs touchant les voisins de premier et de second ordre du Massachusetts ont sur cet État des impacts différents. Cette structure d'erreur peut être préférable à une approche où toutes les autres unités sont voisines à des degrés variables, mais avec le même coefficient d'autocorrélation spatiale. Avec une autocorrélation spatiale d'ordre plus élevé, on peut vérifier si l'impact de l'autocorrélation se dissipe (voire disparaît) au-delà d'une certaine distance, au lieu d'imposer un seuil de distance lorsqu'on inclut les voisins dans la moyenne pondérée.

Pour déterminer le nombre approprié de voisins ( $m$ ), Cohen et Morrison Paul (2007) appliquent de la façon suivante une variante du test de Kelejian et Robinson (1992) d'autocorrélation spatiale. Ils commencent par rechercher une autocorrélation spatiale de premier ordre. S'ils en trouvent une preuve, ils recherchent une autocorrélation spatiale de second ordre et, dans le cas contraire, ils s'en tiennent là. S'ils trouvent une autocorrélation spatiale de second ordre, ils cherchent une autocorrélation spatiale de troisième ordre et dans le cas contraire, ils s'en tiennent là. Ils effectuent ces tests séparément sur chacune des équations de l'estimation (le coût variable et la demande des trois intrants). Ils trouvent une preuve de la présence d'une autocorrélation spatiale de premier ordre dans l'équation de demande de main-d'œuvre hors production ; d'une autocorrélation spatiale de second ordre dans les équations de demande de produits bruts et de coût variable ; et d'une autocorrélation spatiale de troisième ordre dans l'équation de demande de main-d'œuvre pour la production. Ils estiment les coefficients d'autocorrélation spatiale pour chaque équation avec la méthode des moments généralisés de Kelejian et Prucha (2004) pour les systèmes d'équations, puis utilisent ces estimations pour opérer une transformation spatiale de Cochrane-Orcutt sur chaque équation, avant d'estimer le système transformé pour obtenir des estimations de paramètres cohérentes.

Cohen et Morrison Paul (2007) constatent que l'amplitude des coefficients d'autocorrélation spatiale diminue pour chaque équation lorsque la grandeur de l'ordre des États voisins augmente. En d'autres termes, l'impact d'une « zone » de termes d'erreurs des États voisins sur le terme d'erreur d'un État donné est plus élevé pour les États qui en sont des voisins proches et se dissipe pour les zones d'États qui en sont des voisins éloignés.

## 4.2. Le décalage spatial

Le décalage spatial est l'autre forme de débordements spatiaux qui peut être évaluée à l'aide de l'économétrie spatiale. Un décalage spatial (ou une dépendance spatiale) survient lorsque les « voisins » d'une ou plusieurs variables d'une unité géographique particulière sont inclus comme variables explicatives dans une régression. Ces variables spatialement décalées peuvent l'être vis-à-vis de la variable dépendante, comme dans Boarnet (1998), qui inclut un décalage spatial de la production dans son modèle. Ce décalage spatial est interprété comme la moyenne pondérée de la variable dépendante des autres territoires. Il est également courant pour les chercheurs d'inclure dans leur modèle un décalage spatial d'une ou plusieurs variables autres que la variable dépendante. Cohen et Morrison Paul (2003a, 2004), qui incluent dans leur modèle la moyenne pondérée des aéroports et des autoroutes, respectivement, d'autres États, est un exemple de décalage spatial de ce type que nous décrivons plus loin de façon plus détaillée.

L'équation de régression de fonction de production avec un décalage spatial peut s'écrire comme suit :

$$Y = \rho WY + X\beta + u, \quad (18)$$

où  $\rho$  et  $\beta$  sont des paramètres à estimer. Dans cette équation,  $WY$  est le décalage spatial, et représente la moyenne pondérée des variables endogènes des autres territoires (soit la production dans le cas de la fonction de production). Dans Boarnet (1998), la variable est la production. Puisque nous savons que  $Y$  est corrélé avec le terme d'erreur  $u$ , il s'ensuit que  $WY$  est aussi corrélé avec  $u$ .  $WY$  est donc aussi une variable endogène. Dans ce cas, la méthode des moindres carrés ordinaires (OLS) n'est pas la technique d'estimation appropriée. Il faut plutôt employer celle des doubles moindres carrés (2SLS), ou les variables instrumentales (IV) pour estimer l'équation (18). On peut montrer (Kelejian et Prucha, 1998) que  $X$  est l'instrument approprié pour lui-même, et  $WX$  un instrument pour  $WY$ . Il est également possible, mais non nécessaire d'inclure des instruments supplémentaires pour  $WY$ , comme  $WWX$ ,  $WWWX$ , etc.

Dans les situations où un même modèle présente une variable dépendante spatialement décalée et une autocorrélation spatiale (c'est-à-dire quand l'équation (18) a la structure d'erreur décrite dans l'équation (11')), la procédure d'estimation de  $\lambda$  décrite plus haut est un peu différente. La première étape consiste à estimer l'équation (18) par la méthode des doubles moindres carrés, en utilisant  $X$  et  $WX$  comme instruments. Dans une seconde étape, on prendra les valeurs ajustées du terme d'erreur  $u$ , et on les utilisera dans les procédures des moments généralisés ou du maximum de vraisemblance décrites plus haut pour produire une estimation de  $\lambda$ . Les étapes finales consistent à transformer l'équation (18) avec une transformation spatiale de Cochrane-Orcutt, ajouter l'estimation de  $\lambda$ , et estimer l'équation ou les équations transformée(s) avec la méthode des doubles moindres carrés, en utilisant  $X$  et  $WX$  comme instruments respectifs pour  $X$  et  $WY$ . Ce processus donne des estimations de paramètres efficaces de  $\beta$  et  $\rho$ , et donc des estimations des élasticités des infrastructures.

Il est également possible de modéliser la dépendance spatiale en incluant des décalages spatiaux ou d'autres variables exogènes dans le modèle. La moyenne pondérée du stock d'infrastructures publiques des autres territoires en est un exemple. Dans une situation de ce type, la fonction de production s'écrit :

$$Y = X\beta + WZ\delta + u, \quad (19)$$

où  $Z$  est un sous-ensemble des variables incluses dans  $X$  (comme le stock d'infrastructures publiques), et  $\beta$  et  $\delta$  sont des paramètres à estimer. Il est aussi possible mais non nécessaire d'ajouter au modèle une variable dépendante spatialement décalée. Une fois  $\beta$  et  $\delta$  estimés, soit par la méthode des moindres carrés ordinaires, soit par la procédure des moindres carrés ordinaires adaptée à l'autocorrélation spatiale, soit encore par celle des doubles moindres carrés (s'il y a une variable dépendante spatialement décalée), il sera possible d'obtenir des indications sur les avantages au sens large des infrastructures. On les évaluera en calculant l'élasticité de la production ( $\epsilon_{Y,G}$ ) ou celle des coûts variables ( $\epsilon_{VC,G}$ ) par rapport aux infrastructures des territoires voisins. Et le fait de déceler une autocorrélation spatiale lors des premières étapes des estimations peut apporter des

informations supplémentaires sur les avantages au sens large des infrastructures en fournissant des précisions sur les innovations qui ont un effet de débordement entre territoires « voisins ».

## 5. APPLICATIONS

Des études américaines récentes (de fonction de production et de fonction de coût) sur le capital d'infrastructures publiques ont appliqué les notions de décalage spatial et d'autocorrélation spatiale au niveau de l'État et du comté dans le contexte des aéroports, des ports, des autoroutes et des routes. Boarnet (1998) inclut un décalage spatial des variables d'infrastructures publiques (routes et autoroutes) dans son modèle. Il analyse les comtés de Californie avec une fonction de production de Cobb-Douglas, en faisant du stock d'infrastructures d'un comté et de ceux des comtés voisins des variables « libres » qui vont influencer sur la fonction de production. Il essaie également diverses matrices de pondération spatiale, et il trouve des décalages spatiaux significativement négatifs avec les pondérations pour les comtés ayant une densité de population plus proche ( $\epsilon_{y,G} = -0.307$ ) et pour ceux qui ont des niveaux semblables de revenus par habitant ( $\epsilon_{y,G} = -0.806$ ). L'amplitude de ces effets semble très élevée, l'impact des infrastructures  $\epsilon_{y,I}$  du comté étant respectivement de 0.268 et de 0.300 pour les pondérations de population et de revenu.

Les résultats de Boarnet prouvent l'existence d'un comportement de « vampirisation ». L'amélioration des infrastructures dans des comtés voisins permettrait aux entreprises de ces comtés de détourner des ressources productives d'un comté donné, y faisant ainsi baisser la productivité. L'étude trouve des éléments montrant que l'amélioration des infrastructures des comtés voisins entraîne une baisse de la production dans un comté donné, en supposant que les travailleurs soient mobiles.

Des études ultérieures de Cohen et Morrison Paul (2003a, 2004) sur les infrastructures au niveau de l'État trouvent des preuves de débordements positifs entre États. Ces études, qui portent respectivement sur les aéroports et les autoroutes, intègrent aussi des ajustements d'autocorrélation spatiale. Leurs auteurs y estiment les équations de fonctions de coût et de demande d'intrants pour le secteur manufacturier des États-Unis, ce qui fait que la totalité des avantages qu'ils trouvent revient à ce secteur particulier.

L'étude de Cohen et Morrison Paul (2003a) se fonde sur la structure en « *hubs and spokes* » (réseaux aéroportuaires en étoile) du réseau de transport aérien des États-Unis. Dans ce système, les compagnies aériennes transportent des passagers et du fret d'aéroports de type « *spoke* » à des plates-formes aéroportuaires (« *hub* »), où les passagers et le fret changent d'avion pour repartir vers leur destination finale. Dans un tel système, un retard en un point nodal quelconque du système peut avoir des effets à l'échelle du système entier en se répercutant sur les vols de correspondance attendant les passagers et le fret à d'autres points nodaux. L'amélioration des infrastructures d'un aéroport particulier peut réduire la congestion du système entier, ce qui diminuera le temps de trajet des voyageurs d'affaire et du fret dans tout le pays. Cette baisse du temps de trajet peut induire une baisse des coûts des entreprises et augmenter la productivité des travailleurs.

L'analyse de Cohen et Paul (2003a) présente la caractéristique distinctive que les avantages externes diffèrent pour les aéroports et pour les autoroutes et les routes. Un aéroport ne peut générer des avantages que s'il y a dans le système un autre nœud où iront atterrir les avions en partance. Les infrastructures routières, au contraire, peuvent procurer des gains avec quelques kilomètres seulement de voie dans une ville. On pourrait donc s'attendre à ce que les avantages extérieurs à l'État soient relativement plus importants pour les

aéroports que ceux des autoroutes dans la mesure où, pour une entreprise, une amélioration des infrastructures dans les aéroports congestionnés d'autres États devrait avoir un impact en matière de réduction des frais de voyage (et donc des coûts) similaire à celui d'une l'amélioration qui aurait eu lieu dans l'aéroport de départ congestionné de l'État où se trouve cette entreprise.

Cohen et Morrison Paul (2003a) estiment une fonction de coût variable au niveau de l'État (exprimée par  $VC(\cdot)$  dans l'équation (4) plus haut) et des équations de demande d'intrants similaires à l'équation (5), où  $I$  représente le stock d'infrastructures des aéroports de l'État, et  $G$  la moyenne pondérée du stock d'infrastructures des aéroports d'autres États. Ils emploient la méthode de régression SUR (*Seemingly Unrelated Regressions*) pour estimer le système d'équations, et trouvent également que l'application à ce système d'un ajustement d'autocorrélation spatiale fondé sur des estimations de paramètres obtenus avec la méthode des moments généralisés de Kelejian et Prucha (2004) n'affecte pas sensiblement leurs résultats. Ils obtiennent les données qui constituent  $I$  en appliquant la méthode de l'inventaire permanent aux données sur les dépenses d'équipement de l'État dans le domaine des transports aériens pour les années 1982-1996. Ils aboutissent à une estimation de la durée de vie moyenne des aéroports de 25 ans, qu'ils multiplient par les dépenses moyennes d'équipement dans le domaine des transports aériens de 1977 à 1981, ce qui leur donne le stock de capital des aéroports de l'année de base. Le taux d'amortissement correspond à l'inverse de la durée de vie estimée de l'aéroport, et le déflateur d'investissement provient du *Rapport économique du Président des États-Unis* de 2000.

Leur variable  $G$  est fondée sur l'amplitude de l'interaction entre un État donné et d'autres États. Cette interaction se mesure par le nombre de déplacements individuels en avion entre les États, d'après des données du Bureau des statistiques des transports de 1995. Par exemple, un État de destination ( $j$ ) recevant moins de voyageurs ( $a_{ij}$ ) en provenance d'un État de départ ( $i$ ) qu'un autre État de destination a un poids moindre sur cet État de départ que cet autre État de destination. Ces auteurs définissent le poids qu'a un État de destination donné sur un État individuel  $i$  comme :

$$w_{ij} = a_{ij} / \sum_j (a_{ij}) \quad (20)$$

où le terme du dénominateur est tel que  $w_{ij}$  est égal à 1 (et  $w_{ij}$  représente l'élément  $(i,j)$  de la matrice de pondération spatiale  $W$ ). L'équation (20) représente les pondérations spatiales employées pour opérer un ajustement d'autocorrélation spatiale dans les équations de coût variable et de demande de chaque intrant.

Ils construisent aussi  $R_j$ , les ratios du produit brut de l'État (GSP) de l'État  $i$  et du produit brut de l'État  $j$  pour une année donnée. Ils définissent ensuite les infrastructures moyennes des aéroports « voisins »  $G_i$  pour toute année donnée, comme :

$$G_i \equiv \sum_j w_{ij} I_j \cdot R_j, \quad (21)$$

où  $I_j$  est le stock d'infrastructures des aéroports de l'État  $j$  lors d'une année donnée.  $R_j$  est motivé par l'idée qu'on pourrait s'attendre à l'inclusion dans  $G$ , pour les petits États (comme Rhode Island), d'un nombre élevé et disproportionné de vols ayant lieu dans les grands États (comme le Texas). La multiplication du stock d'infrastructures ( $I_j$ ) de chaque État « voisin » par l'inverse de son GSP multiplié par le GSP de l'État  $i$  élimine l'effet de taille induit par les grands États voisins.

Cohen et Morrison Paul constatent que beaucoup de grandes plates-formes aéroportuaires aux États-Unis sont plus congestionnées pendant la période de l'échantillon que les autres types d'aéroport. On peut donc penser que l'élasticité des coûts par rapport aux aéroports de l'État étudié et des autres États diffère dans les États ayant au moins une plate-forme aéroportuaire et dans ceux qui n'en ont pas. Les auteurs présentent donc deux ensembles de résultats pour l'élasticité, l'un pour les États dotés de plates-formes aéroportuaires et l'autre pour ceux qui n'en ont pas.

Pour les États dotés de grandes plates-formes aéroportuaires, les valeurs des élasticités  $\varepsilon_{vc,I}$  et  $\varepsilon_{vc,G}$  sont très semblables et sont significatives, à savoir -0.113 et -0.116 respectivement. Cela implique que, pour un État donné, de meilleures infrastructures d'aéroports dans d'autres États à plates-formes aéroportuaires seront tout aussi efficaces pour réduire les coûts des entreprises manufacturières que l'amélioration de ses propres aéroports. Comme on l'a vu, cela corrobore l'idée que l'amélioration des infrastructures des aéroports aux lieux de départ et de destination devrait induire approximativement le même niveau de gains en termes de réduction des coûts, contrairement à ce qui se passe dans le cas des autoroutes. En d'autres termes, pour les États dotés de grandes plates-formes aéroportuaires, un aéroport extérieur à l'État peut être aussi important que l'aéroport d'origine, parce qu'un voyage suppose un point de départ et un point d'arrivée.

En ce qui concerne l'élasticité par rapport à  $G$  de la demande d'intrants pour les États dotés de grandes plates-formes aéroportuaires, la demande de main-d'œuvre pour la production et hors production est négative et significative. Ces résultats impliquent que les deux types de demande de main-d'œuvre dans un État doté de grandes plates-formes aéroportuaires diminueront du fait de l'augmentation des stocks d'infrastructures des aéroports des autres États. Cette réduction du nombre des travailleurs fait que l'augmentation de  $G$  entraîne celle du produit marginal de la main-d'œuvre. Les résultats ont la même orientation pour les intrants de matières, alors que l'amplitude de l'effet de  $G$  sur la demande de matières est plus faible que l'impact pour les deux types de main-d'œuvre.

Les résultats diffèrent quelque peu pour les États n'ayant pas de grandes plates-formes aéroportuaires.  $\varepsilon_{vc,G}$  et  $\varepsilon_{vc,I}$  sont négatives et significatives, mais  $\varepsilon_{vc,G}$  a une amplitude beaucoup plus forte. Les auteurs expliquent cette différence par le fait que  $G$  inclut des États dotés de grandes plates-formes aéroportuaires, dont beaucoup sont congestionnées, alors que  $I$  représente les stocks d'infrastructures des aéroports dans les États de départ dépourvus de plates-formes aéroportuaires, qui ne sont en général pas aussi congestionnés. La réduction des coûts liée à l'agrandissement des aéroports d'autres États a une amplitude bien plus forte que celle liée aux grands aéroports des États de départ. De plus, l'élasticité négative et significative des valeurs hypothétiques  $\varepsilon_{I,G}$  et  $\varepsilon_{G,I}$  implique que  $G$  et  $I$  sont des substituts l'un de l'autre puisque des augmentations de  $I$  entraînent des diminutions de  $Z_G$  (et vice-versa pour  $G$  et  $Z_I$ ).

Cohen et Morrison Paul (2004) s'intéressent à l'interdépendance des autoroutes par delà les frontières des États. Ils constatent que l'amplitude et les orientations de ces effets de réseaux sont insaisissables dans les études précédentes sur les infrastructures. Le problème des autoroutes repose sur la possibilité de réduire le temps de trajet des travailleurs des entreprises d'un État donné qui traversent des États voisins pour se rendre à leur lieu de travail et en revenir. Les entreprises obtiennent des gains en termes de réduction des coûts en faisant transiter des matières brutes dans les États voisins dotés d'un stock d'infrastructures améliorées.

Les auteurs estiment une fonction de coût variable pour le secteur manufacturier aux États-Unis analogue à celle de Cohen et Morrison Paul (2003a), sauf que  $I$  y représente les infrastructures autoroutières de l'État (prises dans Paul *et al.*, 2001, qui appliquent la méthode de l'inventaire permanent aux données sur l'investissement au niveau de l'État) ; et  $G$  est la moyenne pondérée des infrastructures autoroutières des États voisins. Ils calculent les pondérations spatiales  $w_{ij}$  comme dans l'équation (20) plus haut, dans laquelle  $a_{ij}$  est la valeur moyenne des biens expédiés de l'État  $i$  à l'État  $j$ , et  $j$  représente les États contigus à l'État  $i$ . Après avoir défini les pondérations  $w_{ij}$ , ils calculent  $G$  comme dans l'équation (21).

Le système d'estimation de Cohen et Morrison Paul (2004) se caractérise aussi par la prise en compte d'une autocorrélation spatiale de premier ordre dans les équations de fonction de coût et de demande d'intrants, opérée en juxtaposant une structure d'erreur à chaque équation d'estimation similaire à l'équation (11). Ils estiment une fonction de coût variable généralisée de Leontief, ainsi que des fonctions de demande d'intrants fondées sur l'équation (5) pour la main-d'œuvre pour la production, la main-d'œuvre hors production et les intrants de produits bruts. Ils prennent pour données annuelles celles de l'industrie manufacturière au niveau de

l'État pour la période 1982-1996. Ils trouvent que les paramètres des termes impliquant G sont conjointement significatifs, ce qui justifie l'incorporation des effets de débordement spatial dans le modèle de fonction de coût variable. Ils rejettent aussi l'hypothèse selon laquelle les paramètres de I et G sont conjointement zéro. Ils trouvent que la moyenne de l'élasticité  $\varepsilon_{vc,I}$  est égale à -0.230 et est statistiquement significative, alors que la moyenne de  $\varepsilon_{vc,G}$ , égale à -0.011, ne l'est pas. Le manque de cohérence entre la signification conjointe des termes impliquant G dans les régressions et l'absence de signification de l'élasticité moyenne  $\varepsilon_{vc,G}$  peuvent s'expliquer par le mode de calcul de l'erreur type pour  $\varepsilon_{vc,G}$ . Elle est calculée ici à partir de la moyenne des données de tout l'échantillon.

Les auteurs trouvent également que lorsque les effets spatiaux (G et l'autocorrélation spatiale) ne sont pas reconnus,  $\varepsilon_{vc,I}$  n'est que d'environ -0.15, ce dont ils concluent que l'incorporation de G et de l'autocorrélation spatiale augmente la valeur absolue de l'amplitude de l'élasticité des infrastructures de l'État. De plus, l'effet combiné de G et de I est approximativement de -0.24, ce qui représente une amplitude plus élevée d'environ 50 pour cent que dans le cas où on ne prend pas en compte G et l'autocorrélation spatiale. Ils aboutissent à la conclusion que la prise en compte de ces effets spatiaux a un effet substantiel sur les estimations de l'impact en termes de réduction de coûts des infrastructures publiques.

Un des autres résultats de l'étude est que plusieurs intrants (le capital privé, les produits bruts et la main-d'œuvre hors production) sont des substituts de I, alors que la main-d'œuvre pour la production lui est complémentaire. La conclusion que le capital privé et I sont des substituts est cohérente avec d'autres résultats de la littérature sur les infrastructures publiques.

G et les intrants ont des relations quelque peu différentes. Le capital, la main-d'œuvre hors production et celle pour la production sont des substituts de G, tandis que les produits bruts et G sont complémentaires. Cohen et Morrison Paul (2004) constatent que la substituabilité de G et des deux types de main-d'œuvre correspond aux conclusions de Boarnet (1998).

De façon intéressante, Cohen et Morrison Paul (2004) notent des différences dans les élasticités régionales impliquant G. Ils trouvent que  $\varepsilon_{vc,G}$  est légèrement positive pour les États du Pacifique, ce qui implique que les infrastructures internes sont plus importantes pour ces États que l'amélioration des infrastructures entre États. Cela peut tenir en partie au fait que la région Pacifique comprend la Californie, qui est un État relativement grand. À l'inverse,  $\varepsilon_{vc,G}$  prend la valeur la plus élevée dans les États des montagnes, de l'Ouest, du Nord et du centre. Les auteurs constatent que la faiblesse relative de la population de ces États peut y rendre les autoroutes entre États plus importantes pour les entreprises manufacturières.

Cohen et Monaco (2007) examinent l'impact des ports sur les coûts de fabrication au niveau de l'État. Ils cherchent les effets des ports dans les États (par l'intermédiaire de I) et les effets des ports entre les États (par l'intermédiaire de G) en estimant une fonction de coût variable généralisée de Leontief où I et G sont des facteurs de changement. Ils déterminent les stocks de capital des ports à l'aide de la méthode de l'inventaire permanent pour les données sur les investissements dans les ports au niveau de l'État. Ils incorporent également à leur modèle des variables représentant les infrastructures autoroutières pour tester la complémentarité ou la substituabilité des ports et des autoroutes. Ils testent et prennent en compte l'autocorrélation spatiale dans leur analyse. Les paramètres d'autocorrélation spatiale sont positifs et significatifs, ce qui implique qu'un choc sur les États voisins d'un État donné débordera sur cet État.

En matière d'estimations des élasticités, Cohen et Monaco constatent que le renforcement des infrastructures des ports dans un État y donné fait baisser les coûts variables, l'élasticité de ces coûts étant d'environ -0.04 et statistiquement significative. Les résultats sont très différents pour l'élasticité des coûts variables par rapport aux infrastructures des ports des États voisins. Un renforcement des infrastructures portuaires des États voisins entraîne une hausse des coûts variables dans un État donné. L'élasticité des coûts variables par rapport aux ports des États voisins est de 0.129. Les auteurs affirment que ces résultats entre États sont cohérents avec Boarnet (1998) et impliquent qu'une amélioration des ports des États voisins d'un État donné peut détourner

les travailleurs productifs de cet État, ce qui entraînera une hausse des coûts de fabrication dans cet État. En d'autres termes, l'élasticité positive et significative des infrastructures prouve l'existence de déséconomies d'échelle externes. Pour les entreprises manufacturières d'un État donné, les États voisins ont peut-être trop d'infrastructures portuaires pour la période de l'échantillon et on peut s'attendre à ce qu'une baisse du stock d'infrastructures portuaires des États voisins fasse diminuer les coûts de fabrication de cet État donné.

Cohen et Monaco (2007) observent aussi que l'élasticité de la valeur hypothétique des ports voisins par rapport aux infrastructures des ports d'un État est négative et significative. Ce résultat implique que les États ayant un stock d'infrastructures portuaires en diminution se retrouveront avec des déséconomies d'échelle externes plus grandes du fait de l'amélioration des infrastructures portuaires des États voisins. À l'inverse, ils trouvent que l'élasticité de la valeur hypothétique des ports d'un État donné par rapport au stock de ports des États voisins n'est pas significative, ce qui implique que l'expansion des infrastructures portuaires des États voisins n'a pas d'impact significatif sur la valeur hypothétique des infrastructures portuaires de cet État.

Les élasticités liant les ports et les autoroutes ne livrent pas de relation significative entre la valeur hypothétique des ports (autoroutes) et des autoroutes (ports) supplémentaires. L'élasticité de la valeur hypothétique des ports par rapport aux deux types de main-d'œuvre (pour la production et hors production) est positive. En d'autres termes, le potentiel de réduction des coûts (ou valeur hypothétique) des ports augmente avec le nombre de travailleurs, ce qui implique une certaine complémentarité entre les travailleurs et les ports. Enfin, une fois que l'on a tenu compte du prix de tous les facteurs et d'autres facteurs de changement, la valeur hypothétique des ports augmente avec le temps, comme le montrent le signe et l'aspect significatif de l'élasticité de la valeur hypothétique des ports par rapport au compteur de temps (t).

Les études de fonction de coût que nous avons analysées prennent toutes la forme de la fonction généralisée de Leontief. La majorité des études spatiales de fonction de coût antérieures traitent de l'impact de divers types d'infrastructures sur le secteur manufacturier des États-Unis. Une étude récente de Moreno *et al.* (2004) évalue les effets de débordement pour douze branches manufacturières dans quinze régions espagnoles de 1980 à 1991. Ces auteurs estiment une fonction de coût variable translog pour deux catégories séparées de modèles. Ils qualifient le premier type de modèle, qui inclut la moyenne pondérée de la production d'autres branches et/ou régions géographiques comme intrant externe, de cas « sectoriel ». Ce cas sectoriel s'apparente à l'approche adoptée par Morrison et Siegel (1999), qui intègrent des variables externes de changement dans la fonction de coût pour la production d'autres industries. L'autre groupe de modèles de Moreno *et al.*, dans lequel les auteurs ajoutent des mesures du capital public pour les régions voisines, constitue le cas « régional ». Ils y incluent des mesures du capital public (I) dans une région donnée pour chaque branche, obtenues en répartissant l'ensemble du stock d'infrastructures selon la part de production de chaque branche manufacturière dans la production manufacturière totale. Pour ce cas régional, les auteurs créent une spécification de G qui diffère de celle de l'approche du décalage spatial adoptée par les autres études de fonction de coût décrites plus haut. Dans leur spécification, G est égale à W multiplié par ln(I), où ln(I) représente le logarithme naturel de l'approche du décalage spatial I, et W est une matrice de contiguïté fondée sur les régions géographiques voisines espagnoles. Le capital public total (qui sera appelé ici « T ») est alors supposé être la moyenne géométrique du capital public de la région (I) et de celui des régions voisines (G) :

$$T \equiv I^\theta G^{1-\theta}, \quad (22)$$

où  $\theta$  est un paramètre entre 0 et 1 à estimer de façon empirique avec le reste de la fonction de coût. Les auteurs font valoir que cette spécification du capital public a pour avantage de tenir compte des complémentarités entre I et G. Elle évite aussi d'avoir à ajouter plusieurs termes d'interaction supplémentaires pour I et pour G, car on a besoin de n'ajouter que les termes d'interaction d'une variable d'infrastructures (T) à la fonction de coût de base. Ils affirment que l'intégration de termes d'interaction minimum atténue les problèmes potentiels de multicollinéarité. Cette approche a toutefois l'inconvénient, dû à l'addition de T, de faire intervenir des techniques de régression non-linéaire pour estimer le modèle.

Moreno *et al.* construisent leur modèle de cas régional en commençant avec un modèle de fonction de coût variable translog contenant les prix des intrants pour la main-d'œuvre et les matières intermédiaires, une mesure de la production, et un facteur fixe pour le capital. Ils effectuent aussi trois tests d'autocorrélation spatiale, dont un présente des preuves significatives de la présence d'une autocorrélation spatiale dans ce modèle de base. Ils ajoutent ensuite le capital public (I), et trouvent que tous les paramètres impliqués avec les termes de I sont conjointement significatifs. Ici encore, ils trouvent des preuves de l'existence d'une autocorrélation spatiale pour cette spécification dans l'un de leurs trois tests. Ils trouvent qu'en moyenne  $\varepsilon_{VC,I} = -0.034$  dans toutes les régions espagnoles. Leurs estimations des élasticités de la demande d'intrants impliquent une complémentarité entre la main-d'œuvre et les infrastructures, mais une substituabilité des infrastructures et des matières intermédiaires. Enfin, l'ajout des externalités transrégionales sous la forme de G et de la moyenne pondérée de la production des régions voisines n'apporte pas de preuve d'autocorrélation spatiale, mais ils obtiennent  $\theta = 0.58$ . Cette valeur de  $\theta$  (et la valeur associée de  $(1-\theta)$ ) impliquent que G et I sont des déterminants importants des coûts variables et corrobore la présence de réseaux de transport. Mais l'élasticité des coûts variables par rapport à la mesure composite des infrastructures T est maintenant positive, ce qui indique que ces régions espagnoles étaient suréquipées en infrastructures dans les années 80. De plus, l'élasticité de la main-d'œuvre par rapport à la mesure composite des infrastructures T est maintenant négative, ce qui implique que les travailleurs et les infrastructures sont devenus des substituts les uns des autres. En outre, l'élasticité des matières intermédiaires par rapport aux infrastructures change également de signe, ce qu'on interprète comme le fait que ces deux intrants sont maintenant complémentaires. Les auteurs constatent toutefois que la spécification de la matrice de pondération spatiale peut orienter leurs résultats dans le cadre de cette méthode d'estimation, sans pour autant communiquer de résultats de tests opérés avec d'autres matrices de pondération.

En ce qui concerne le cas sectoriel, ils supposent que  $\theta = 1$ , de sorte qu'ils n'intègrent pas dans le modèle les débordements de capital public entre régions. Ils trouvent d'abord que  $\varepsilon_{VC,I} = 0.305$ , ce qui indique encore une fois que l'Espagne avait un excès de capital d'infrastructures publiques pendant les années 80. Ils trouvent aussi de fortes preuves d'autocorrélation spatiale entre secteurs (qu'ils appellent « autocorrélation sectorielle ») dans tous les trois tests. Enfin, ils ajoutent la moyenne pondérée de la production des régions voisines comme facteur fixe dans une procédure séparée d'estimation. Ce facteur fixe supplémentaire, ajouté à l'inclusion du capital public (I), élimine complètement toute preuve d'« autocorrélation sectorielle » significative. Les auteurs constatent aussi que l'élasticité moyenne  $\varepsilon_{VC,I}$  est égale à  $-0.341$ , ce qui implique que le capital d'infrastructures publiques en Espagne procure des gains en termes de réduction des coûts aux entreprises manufacturières de ce pays. Les résultats de leurs deux procédures d'estimation intégrant le capital public pour le cas sectoriel indiquent que la main-d'œuvre et le capital d'infrastructures publiques sont complémentaires, alors que les matières intermédiaires et le capital public sont des substituts.

## 6. CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

Les progrès récents de l'économétrie spatiale ont facilité l'analyse des avantages au sens large des infrastructures publiques. Les chercheurs ont notamment évalué depuis dix ans les impacts de l'autocorrélation spatiale et du décalage spatial sur les estimations des avantages du capital d'infrastructures publiques. Leurs études portent sur divers modes d'infrastructures de transport, comprenant les autoroutes, les transports aériens et les ports. Elles couvrent les comtés et les États américains, et des régions espagnoles. Elles adoptent la méthode de la fonction de production ou de la fonction de coût et ont livré toute une palette de résultats. Certaines d'entre elles ont trouvé que l'augmentation du capital d'infrastructures entraîne celle de la production et une diminution des coûts alors que d'autres font état de l'inverse. Malgré cette absence

de consensus sur l'impact des infrastructures, l'intégration de mesures des avantages « au sens large » a manifestement amélioré la précision de l'observation des effets des infrastructures par rapport au début des années 90. Les innovations apportées aux outils de l'économétrie spatiale ont aidé à la compréhension dans ce domaine. Les futures recherches devront néanmoins aller plus loin pour améliorer la précision des mesures de l'impact des infrastructures publiques.

On pourrait approfondir ces travaux en utilisant des données manufacturières au niveau de l'entreprise pour estimer l'élasticité des coûts variables par rapport aux infrastructures publiques. Cette analyse désagrégée tiendrait compte de la plus grande hétérogénéité des différents agents, ce qui pourrait produire des résultats différents pour les élasticités des infrastructures. Ces données existent au centre de recherche des données (RDC) des *Census Bureau Research Data Centers* des États-Unis. Elles ne sont pas faciles à obtenir, mais leur richesse potentielle peut justifier l'effort consenti pour y accéder. L'analyse au niveau de l'entreprise a l'avantage éventuel de pouvoir chiffrer en dollars et pour chaque entreprise la réduction des coûts estimée imputable aux infrastructures supplémentaires après avoir estimé les élasticités. Cette méthode pourrait permettre d'innover dans le financement des infrastructures en faisant payer les entreprises d'après les gains qu'elles escomptent (ou ont reçus) du fait de l'amélioration de ces infrastructures.

Parallèlement aux progrès de l'économétrie spatiale depuis 15 ans, on constate que le logiciel de système d'information géographique est de plus en plus prisé et qu'on l'utilise de plus en plus dans les milieux de l'économie. Si son usage s'est généralisé dans d'autres domaines de l'économie, comme dans les études hédoniques des prix des logements, le logiciel SIG pourrait s'avérer très utile dans les études sur les infrastructures. Par exemple, les chercheurs pourraient l'utiliser plus massivement pour générer des pondérations spatiales plus sophistiquées dans leur évaluation des effets de débordement positifs des territoires « voisins ». Élaborer une plus grande variété de pondérations spatiales et estimer la fonction de coût ou la fonction de production pour plusieurs spécifications de pondérations différentes peut constituer un contrôle de robustesse pour la modélisation spatiale.

Une démarche procédant du contrôle de la robustesse de l'utilisation de différentes matrices de pondérations spatiales consiste à intégrer des variations alternatives de la mesure du stock d'infrastructures d'autres localités. Beaucoup d'études calculent  $G$  pour une localité particulière comme la moyenne pondérée des infrastructures d'autres localités, et  $G$  entre dans l'analyse en tant que facteur de changement distinct. Moreno *et al.* (2004) constitue une exception en utilisant  $I$  et  $G$  pour dériver une mesure nette des infrastructures, que nous appelons  $T$  dans l'équation (22) plus haut. Comme l'ont constaté Moreno *et al.*, l'utilisation de  $T$  au lieu de termes séparés pour  $I$  et  $G$  diminue le nombre de termes d'interaction (et par là, le nombre de paramètres à estimer avec des formes fonctionnelles sophistiquées), bien qu'elle introduise des non-linéarités qui excluent les méthodes classiques d'estimation linéaire. Mais il serait opportun de calculer une mesure composite d'infrastructures de ce type et de contrôler la robustesse des résultats. Cette structure peut avoir l'inconvénient d'imposer des interdépendances supplémentaires entre  $G$  et  $I$  en l'absence de recherche empirique de ces interrelations par des tests.

S'il existe des études sur l'impact des infrastructures publiques sur les coûts de fabrication impliquant divers modes de transports, comme Cohen et Morrison Paul (2007) pour les aéroports et les autoroutes, et Cohen et Monaco (2007) pour les ports et les autoroutes, une étude intermodale à grande échelle apporterait de nouvelles informations sur la complémentarité ou la substituabilité des différents types d'infrastructures. Une analyse plus détaillée des effets de débordement des transports intermodaux à un niveau désagrégé (le comté), portant sur les ports, les transports ferroviaires et aériens et les autoroutes, permettrait d'intégrer la structure plus complexe des réseaux de transport dans la littérature actuelle.

Autre domaine éventuel de recherche, on pourrait analyser les impacts des infrastructures sur les secteurs autres que la production manufacturière. Cohen et Monaco mènent actuellement des recherches qui explorent l'impact des ports sur les secteurs du textile et des produits de gros à l'échelon des comtés de Californie.

Des études sur d'autres branches, pour d'autres régions et portant sur d'autres types d'infrastructure, pourraient également être instructives.

Outre cette recherche des avantages entre secteurs, une autre possibilité serait d'examiner les impacts de G dans un contexte d'équilibre général comme le fait Haughwout (2002). Il s'agirait d'un modèle où les consommateurs feraient des choix de consommation tout en minimisant leurs dépenses totales et où les infrastructures seraient un facteur de changement exogène. Le modèle aurait en outre une dimension liée à la production, les entreprises choisissant les intrants pour minimiser les coûts de production, et les infrastructures entreraient aussi dans la fonction de coût. Les « infrastructures » pourraient consister ici en I et en G, ce qui fait qu'on pourrait évaluer les impacts des infrastructures sur le bien-être dans un contexte d'équilibre général à partir de leurs effets de débordement, à la fois entre territoires et dans un territoire particulier.

Une autre approche, plus macroéconomique, serait de rechercher les avantages entre pays, comme par exemple les pays européens qui sont très interdépendants, ainsi que les avantages entre les régions à l'intérieur des pays. Cohen et Morrison Paul (2003b) évaluent les effets de débordement de la production entre les pays de l'Union Européenne, mais sans incorporer les infrastructures dans leur modèle. Une autre variante serait de fragmenter G en différentes couches commençant au niveau microéconomique pour atteindre progressivement le niveau d'ensemble. Avec cette approche, les analyses des débordements entre pays ne pourraient pas ne pas détecter les débordements à l'échelle des pays. Les stocks de capital public responsables de ces débordements (G) seraient probablement plus élevés ici, mais cela n'entraîne pas nécessairement que leurs effets positifs le soient également. Le signe des avantages nets dépendrait de celui des élasticités par rapport aux infrastructures d'après l'estimation économétrique du modèle.

Ce serait un exercice complexe que de rassembler un grand nombre de ces idées pour les examiner ensemble. Mais cela constituerait aussi un excellent prélude à l'adoption de modèles d'équilibre général calculable, comme celui que présentent Lakshmanan, *et al.* (2007). Il va sans dire que l'évaluation des avantages au sens large du capital d'infrastructures publiques demandera encore beaucoup de travail.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anselin, L. (1981), « *Small sample properties of estimators for the linear model with a spatial autoregressive structure in the disturbance* », *Modeling and Simulation* 12, pp. 899-904.
- Aschauer, D.A. (1989), « *Is Public Expenditure Productive?* », *Journal of Monetary Economics*, 23(2), pp. 177-200.
- Boarnet, M.G. (1998), « *Spillovers and the Locational Effects of Public Infrastructure* », *Journal of Regional Science*, 38(3), p. 381-400.
- Cliff, A. et Ord, J. (1981), *Spatial Processes, Models and Applications*, Pion, Londres.
- Cohen, J.P. et K. Monaco (2007), « *Ports and Highways Infrastructure: An Analysis of Intra- and Inter-state Spillovers* », manuscrit.
- Cohen, J.P. et Morrison Paul, C.J. (2007), « *The Impacts of Transportation Infrastructure on Property Values: A Higher-Order Spatial Econometrics Approach* », *Journal of Regional Science* 47(3), pp. 457-478.
- Cohen, J.P. et Morrison Paul, C.J. (2004), « *Public Infrastructure Investment, Interstate Spatial Spillovers, and Manufacturing Costs* », *Review of Economics and Statistics* 86, pp. 551-560.
- Cohen, J.P. et Morrison Paul, C.J. (2003a), « *Airport Infrastructure Spillovers in a Network System* », *Journal of Urban Economics* 54(3), pp. 459-473.
- Cohen, Jeffrey P. et Catherine Morrison Paul (2003b), « *Production Externalities, Integration and Growth: The Case of the European Union 'Single Market'* », *Growth and Development in the Global Economy*, (dir. Harry Bloch.), Edward Elgar Press, chapitre 4, pp. 53-66.
- Haughwout, A. (2002), « *Public Infrastructure Investments, Productivity and Welfare in Fixed Geographic Areas* », *Journal of Public Economics* 83, pp. 405-425.
- Holtz-Eakin, D. et A.E. Schwartz (1995), « *Spatial Productivity Spillovers from Public Infrastructure: Evidence from State Highways* » *International Tax and Public Finance* 2, pp. 459-468.
- Kelejian, H.H. et Prucha, I.R. (2004), « *Estimation of Simultaneous Systems of Spatially Interrelated Cross Sectional Equations* », *Journal of Econometrics* 118, pp. 27-50.
- Kelejian, H.H. et Prucha, I.R. (1999), « *A Generalized Moments Estimator for the Autoregressive Parameter in a Spatial Model* », *International Economic Review* 40, pp. 509-533.
- Kelejian, H.H. et Prucha, I.R. (1998), « *A Generalized Spatial Two-Stage Least Squares Procedure for Estimating a Spatial Autoregressive Model with Autoregressive Disturbances* », *Journal of Real Estate Finance Economics* 17, pp. 99-121.

- Kelejian, H.H. et Robinson, D. (1992), « *Spatial Autocorrelation: A New Computationally Simple Test With an Application to Per Capital County Police Expenditures* », *Regional Science and Urban Economics* 22, pp. 317-331.
- Kelejian, H.H. et Robinson, D. (1997), « *Infrastructure productivity estimation and its underlying econometric specifications: a sensitivity analysis* », *Papers in Regional Science* 76, pp. 115-131.
- Lakshmanan, T.R., W. Anderson, I. Sue Wing (2007), *Supply and demand side meso effects of infrastructure investments*, manuscrit.
- Moreno, R., E. Lopez-Bazo, E. Vaya, M. Artis (2004), « *External Effects and Costs of Production* », Chapitre 14 in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools, and Applications* (L. Anselin, 1981, R.J.G.M. Florax, et S.J. Rey, dir.), Springer, Berlin.
- Morrison, C.J. et A.E. Schwartz (1996), « *State Infrastructure and Productive Performance* » *American Economic Review* 86, pp. 1095-1111.
- Morrison, C.J. et D. Siegel, 1999. « *Scale Economies and Industry Agglomeration Externalities: A Dynamic Cost Function Approach* », *American Economic Review* 89, pp. 272-290.
- Munnell, A.H. (1990), « *How Does Public Infrastructure Affect Regional Economic Performance?* » *New England Economic Review*, septembre/octobre, pp. 11-32.
- Nadiri, M.I. et T.P. Mameanus (1994), « *The Effects of Public Infrastructure and R&D Capital on the Cost Structure and Performance of U.S. Manufacturing Industries* », *Review of Economics and Statistics* 76, pp. 22-37.
- Paul, C.J. Morrison, V.E. Ball, R.G. Felthoven, R. Nehring, (2001), « *Public Infrastructure Impacts on U.S. Agricultural Production: A State-Level Panel Analysis of Costs and Netput Composition* », *Public Finance and Management* 1, <http://www.spaef.com>.
- Varian, H. (1992), *Microeconomic Analysis*, troisième édition, W.W. Norton, New York.



**ÉCONOMIES D'AGGLOMÉRATION ET INVESTISSEMENTS DANS LES  
TRANSPORTS**

**Daniel J. GRAHAM<sup>1</sup>**  
**Imperial College London**  
**Londres**  
**Royaume-Uni**



## SOMMAIRE

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 1. | INTRODUCTION .....  | 106 |
| 2. | ÉCONOMIES D'AGGLOMÉRATION ET INVESTISSEMENTS DANS<br>LES TRANSPORTS .....                   | 107 |
|    | 2.1. Agglomération et productivité .....  | 107 |
|    | 2.2. Investissements dans les transports et agglomération .....                             | 109 |
| 3. | ESTIMER LES ÉCONOMIES D'AGGLOMÉRATION .....   | 111 |
|    | 3.1. Données sur les entreprises.....   | 112 |
|    | 3.2. Mesure de l'agglomération.....   | 113 |
|    | 3.3. Estimer la relation entre agglomération et productivité .....                          | 113 |
| 4. | RÉSULTATS .....   | 114 |
|    | 4.1. Estimations de la fonction de production .....   | 114 |
|    | 4.2. Application des élasticités d'agglomération aux évaluations des transports.....        | 115 |
|    | 4.3. Limites de l'approche et orientations pour les travaux futurs .....                    | 117 |
| 5. | CONCLUSIONS.....  | 118 |
|    | NOTES.....  | 119 |
|    | RÉFÉRENCES .....  | 120 |
|    | ANNEXE 1 : LE MODÈLE TRANSLOG DE LA DEMANDE INVERSEE D'INTRANTS<br>POUR LA PRODUCTION ..... | 122 |

Londres, août 2007



## RÉSUMÉ

Ce document porte sur les relations entre agglomération, productivité et investissements dans les transports. Si l'amélioration des systèmes de transport s'accompagne de changements dans la masse d'activité économique accessible aux entreprises, en réduisant par exemple les temps ou les coûts de déplacement, elle peut procurer des avantages intéressants à travers les économies d'agglomération. Ce document présente les résultats empiriques d'une analyse économétrique de la relation entre productivité et accessibilité à l'activité économique dans les différents secteurs de l'économie du Royaume-Uni. Les résultats indiquent que les économies d'agglomération existent bel et bien et peuvent être consistantes, notamment dans le domaine des services. En outre, l'effet des externalités d'agglomération n'est pas sans importance, lorsqu'il est envisagé dans le contexte de l'évaluation des transports. Les calculs préliminaires font généralement apparaître des avantages accrus pour les usagers conventionnels de l'ordre 10 pour cent à 20 pour cent dérivant de l'augmentation des rendements du potentiel économique.

## 1. INTRODUCTION

Dans une étude récente, Venables (2007) met au point un modèle théorique pour démontrer l'existence d'un certain nombre de liens importants entre la prestation de services de transport et l'agglomération. Il montre que s'il existe des rendements d'agglomération croissants – comme semble l'indiquer la théorie économique urbaine – les investissements dans les transports peuvent entraîner des effets positifs sur la productivité en améliorant efficacement l'accessibilité à la « masse économique ». N'importe laquelle de ces externalités d'agglomération peut être identifiée comme un « avantage plus général » des investissements dans les transports, dans le sens où ces externalités ne sont pas prises en compte habituellement dans une analyse coûts-avantages classique.

Pour comprendre l'étendue des « avantages plus généraux » potentiels des investissements dans les transports, il convient de procéder en premier lieu à des estimations quantitatives des rendements d'agglomération. Autrement dit, un contrôle empirique de l'existence et de l'étendue de la relation entre productivité et accessibilité au potentiel économique est nécessaire. Il est préférable d'étudier cette relation séparément pour les différents secteurs économiques, car il est peu probable que les avantages découlant de l'agglomération soient uniformes d'une branche à l'autre.

Ce document décrit les résultats de la nouvelle recherche empirique réalisée sur la relation entre agglomération et productivité dans les différents secteurs de l'économie du Royaume-Uni. Il examine en outre les incidences des économies d'agglomération sur l'évaluation des investissements dans les transports. Les résultats indiquent que les économies d'agglomération existent bel et bien et peuvent être consistantes, notamment dans le domaine des services. Si les investissements dans les transports modifient les densités accessibles aux entreprises, en réduisant par exemple les temps et les coûts de déplacement, ils peuvent alors s'accompagner d'effets d'agglomération positifs. En outre, l'effet des externalités d'agglomération n'est pas sans importance, lorsqu'il est envisagé dans le cadre de l'évaluation des transports. Les calculs préliminaires font généralement apparaître des avantages accrus pour les usagers conventionnels de l'ordre 10 pour cent à 20 pour cent dérivant de l'augmentation des rendements du potentiel économique.

Ce document est articulé de la manière suivante : la section 2 dresse un panorama des travaux sur l'agglomération et la productivité et examine la relation entre investissements dans les transports et agglomération ; la section 3 décrit la méthodologie utilisée pour estimer les économies d'agglomération ; les résultats empiriques sont présentés à la section 4, qui comprend une analyse des applications récentes des avantages de l'agglomération dans le cadre de l'évaluation des transports ; enfin, la dernière section tire les conclusions.

## 2. ÉCONOMIES D'AGGLOMÉRATION ET INVESTISSEMENTS DANS LES TRANSPORTS

### 2.1. Agglomération et productivité

La tendance à la concentration ou à l'agglomération est sans doute la caractéristique la plus largement remarquée de l'organisation spatiale de l'activité économique. Elle peut être observée de part et d'autre de la planète, à différents niveaux géographiques. L'agglomération est par exemple évidente en présence de développement urbain, de formation de régions et de bassins industriels et de regroupements d'activités semblables au sein d'un même quartier d'une ville.

Pour tenter d'expliquer les microfondements de l'agglomération, on part généralement du principe que les villes et les concentrations industrielles ne se formeraient pas si elles ne présentaient aucun avantage tangible pour les entreprises. Les avantages obtenus à travers la concentration spatiale d'activités économiques sont désignés d'une manière générique sous le terme d'« économies d'agglomération ».

On opère normalement une distinction entre les effets d'agglomération créés par l'ampleur ou la densité des activités dans une branche industrielle spécifique et ceux découlant de l'échelle urbaine ou de la dimension d'une ville. Les économies de concentration industrielle, désignées sous le terme d'« économies de localisation » sont externes à l'entreprise, mais internes à la branche d'activité et sont supposées être principalement issues de la constitution d'un marché du travail partagé, du partage d'intrants intermédiaires et du partage des connaissances ou débordements technologiques (*spillovers*). Les économies de concentration urbaine, ou économies d'urbanisation, sont externes à l'entreprise et à l'industrie, mais internes à la ville. Les avantages qu'elles produisent sont dus à l'existence de biens publics locaux, à l'ampleur des marchés, à la proximité de partages d'intrants et de produits et à d'autres types d'interaction intersectorielle.

Les fondements théoriques de l'existence d'économies d'agglomération sont désormais bien connus (voir par exemple Fujita et Thisse 2002, Duranton et Puga 2005). Un ensemble de travaux empiriques s'est proposé d'identifier ces externalités et de quantifier leurs effets sur la productivité. Il existe en outre nombre d'excellentes analyses actualisées sur les études empiriques en matière d'agglomération (voir notamment Rosethl et Strange 2004, Eberts et McMillen 1999). Ces documents se sont surtout concentrés sur les activités de fabrication et, jusqu'à très récemment, peu de résultats avaient été publiés sur la relation entre agglomération et productivité du secteur tertiaire. Il est pratiquement certain que ce phénomène est dû à la qualité médiocre des données sur le secteur tertiaire dans la plupart des pays par rapport aux statistiques sur les activités de fabrication. Néanmoins, étant donné que les services comprennent désormais une large proportion des économies nationales et urbaines, il est réellement limitatif de placer l'accent sur le secteur de la fabrication.

Pour identifier les économies d'agglomération, la recherche empirique opère en construisant des variables qui mesurent l'étendue de la concentration industrielle et urbaine et les utilise ensuite dans un système de fonctions de production ou de coût pour estimer les effets sur la productivité. L'urbanisation est souvent représentée par la population totale ou par l'emploi total d'une zone urbaine. La localisation est identifiée grâce à certaines mesures de l'ampleur de l'industrie locale, comme l'emploi. Le Tableau 1 présente un aperçu de certaines recherches importantes sur les effets de l'agglomération sur la productivité. Il récapitule les études qui ont abouti à une estimation de l'élasticité réelle des effets d'agglomération plutôt qu'à une

Tableau 1. Estimations des économies d'agglomération à partir d'analyses de la fonction de production

| Auteur                              | Unité d'analyse               | Variable indépendante  | Elasticité        |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|
| 1 Aaaberger (1973)                  | Villes suédoises              | Taille des villes (population)                                   | 0.02              |
| 2 Shefer (1973)                     | RSM américaines               | Enquête sur le commerce de détail au niveau d'agrégation des RSM | 0.2               |
| 3 Sveikauskas (1975)                | RSM américaines               | Taille des villes (population)                                   | 0.06              |
| 4 Kawashima (1975)                  | RSM américaines               | Taille des villes (population)                                   | 0.2               |
| 5 Fogarty et Garofalo (1978)        | RSM américaines               | Taille des villes (population)                                   | 0.1               |
| 6 Moomaw (1981)                     | RSM américaines               | Taille des villes (population)                                   | 0.03              |
| 7 Moomaw (1983)                     | RSM américaines               | Taille des villes (population)                                   | 0.05              |
| 8 Moomaw (1985)                     | RSM américaines               | Taille des villes (population)                                   | 0.07              |
| 9 Nakamura (1985)                   | Villes japonaises             | Taille des villes (population)                                   | 0.03 <sup>a</sup> |
| 10 Tabuchi (1986)                   | Villes japonaises             | Taille des villes (population)                                   | 0.04              |
| 11 Louri (1988)                     | Régions grecques              | Taille des villes (population)                                   | 0.05              |
| 12 Sveikauskas <i>et al.</i> (1988) | RSM américaines               | Taille des villes (population)                                   | 0.01 <sup>b</sup> |
| 13 Nakamura (1985)                  | Villes japonaises             | Dimension des branches d'activité (emploi)                       | 0.05              |
| 14 Henderson (1986)                 | Villes brésiliennes           | Dimension des branches d'activité (emploi)                       | 0.11 <sup>c</sup> |
| 15 Henderson (1986)                 | RSM américaines               | Dimension des branches d'activité (emploi)                       | 0.19 <sup>d</sup> |
| 16 Henderson (2003)                 | RSM américaines               | Dimension des branches d'activité (nombre d'établissements)      | 0.03 <sup>e</sup> |
| 17 Ciccone et Hall (1996)           | Etats américains              | Densité de l'emploi  | 0.06              |
| 18 Ciccone (2002)                   | Régions de l'Union Européenne | Densité de l'emploi  | 0.05              |
| 19 Rice <i>et al.</i> (2006)        | NUTS 3 du Royaume-Uni         | Proximité/temps de déplacement                                   | 0.04              |

Notes: RSM – Région statistique métropolitaine

a – valeur moyenne pour 14 branches d'activité de fabrication,

b – valeur moyenne à partir de 5 spécifications de modèles,

c – valeur moyenne pour 10 branches d'activité,

d – valeur moyenne pour 9 branches d'activité,

e – valeur moyenne pour 4 spécifications de modèles.

identification des effets d'agglomération au moyen de variables fictives ou d'autres méthodes reposant sur des variables limitées.

A l'exception des études 17 et 18, qui concernent les effets sur la productivité économique totale, les estimations présentées au Tableau 1 se rapportent aux activités de fabrication. Les études 13, 14, 15 et 16 fournissent les élasticités décrivant la force des économies de localisation, tandis que les autres estimations montrent l'effet des économies d'urbanisation sur la productivité.

Les estimations des économies d'urbanisation relatives aux activités de fabrication indiquées au Tableau 1 sont comprises entre 0.01 et 0.20. Cependant, la plupart des valeurs sont inférieures à 0.10, ce qui signifie

que, lorsqu'une ville double en dimension, ce phénomène est habituellement associé à une augmentation de la productivité comprise entre 1 pour cent et 10 pour cent. Toutes les estimations fournies dans ce Tableau présentent des valeurs positives, bien que certaines difficultés soient signalées dans l'identification des effets de l'urbanisation sur la productivité (Henderson 1986 et Henderson 2003).

Le Tableau 1 présente quatre estimations d'économies de localisation. Nakamura (1985) évalue les effets des économies de localisation sur la productivité de vingt branches d'activité de fabrication. Il relève une élasticité moyenne non pondérée de la productivité par rapport à la dimension des branches d'activité de 0.05. Henderson (1986) identifie également des économies de localisation positives en utilisant les données sectorielles des RSM américaines et des villes brésiliennes. Les estimations relatives au Brésil varient en fonction des branches d'activité et indiquent une élasticité maximum de 0.20 et une élasticité minimum de 0.03 ; la valeur moyenne sur dix branches correspond à 0.11. En ce qui concerne les RSM américaines, les élasticités relatives aux économies de localisation sont comprises entre 0.09 et 0.45 avec une valeur moyenne de 0.19. Henderson (2003) estime une élasticité de localisation moyenne de 0.03.

Parallèlement aux études s'appuyant sur la population et l'emploi des RSM pour représenter la taille des villes et la dimension des branches d'activité, d'autres recherches ont introduit certaines mesures de la distance ou de la densité dans la spécification des effets d'agglomération. Deux documents sont particulièrement intéressants à cet égard. Ciccone et Hall (1996) obtiennent une équation pour estimer les effets de la densité de l'emploi national sur la productivité agrégée des Etats aux Etats-Unis. Ils observent que plus de la moitié de la variance de productivité du travail agrégée d'un Etat à l'autre peut s'expliquer par une variance de la densité de l'emploi et que, lorsque la densité de l'emploi est multipliée par deux, ce phénomène s'accompagne d'une augmentation de 6 pour cent de la productivité moyenne du travail (soit une élasticité de 0.06). Ciccone (2002) étend cette analyse aux données européennes et estime une élasticité de la productivité du travail par rapport à la densité de l'emploi de 0.045.

Les travaux empiriques fournissent donc des éléments de preuve pour étayer la théorie des rendements croissants de densité urbaine et de dimension des branches d'activité.

## 2.2. Investissements dans les transports et agglomération

Il semble raisonnable d'envisager intuitivement une autre relation entre la prestation de services de transport et les avantages découlant de la concentration spatiale de l'activité économique. Les coûts de transport sont essentiels pour déterminer la masse d'activité économique (y compris la population) accessible aux entreprises. De nouveaux investissements dans les transports peuvent accroître les possibilités d'accès aux activités en réduisant les temps et les coûts de déplacement, créant ainsi des effets d'agglomération positifs. Inversement, lorsque les systèmes de transport fonctionnent de manière inefficace ou lorsqu'il existe des contraintes en matière d'accessibilité, la production et la distribution d'externalités d'agglomération peuvent être entravées.

Ici, le problème majeur est que les économies d'agglomération sont des *externalités*, c'est-à-dire un effet secondaire des activités des entreprises dont les conséquences se répercutent sur l'économie au sens large. Il s'agit d'un aspect extrêmement important du point de vue de l'évaluation des transports, car les méthodes d'évaluation traditionnelles fondées sur l'appréciation des temps de déplacement ne reconnaissent pas ces types d'externalités. C'est la raison pour laquelle les effets d'agglomération des investissements dans les transports peuvent être rangés dans la catégorie des *avantages économiques plus généraux* car ils représentent des imperfections de marché non prises en compte dans l'analyse coûts-avantages type.

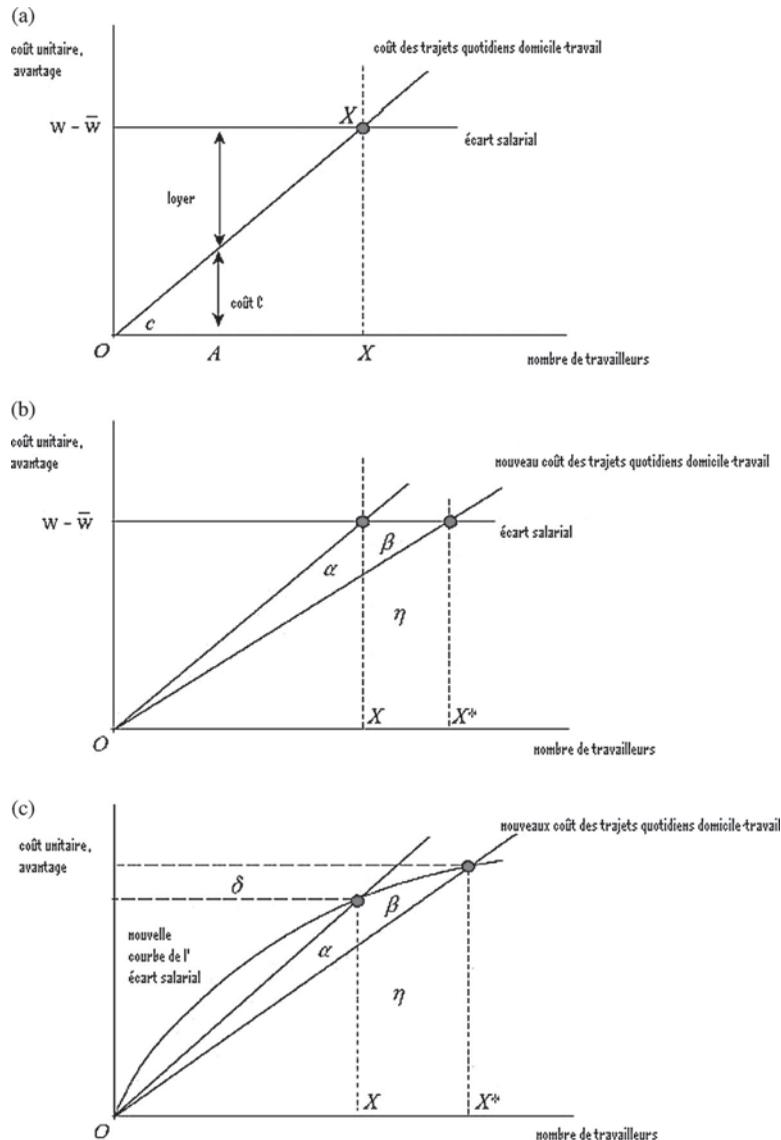
Venables (2007) donne un caractère formel à cette thèse et démontre que les estimations de l'élasticité de la productivité par rapport à l'agglomération peuvent être utilisées pour illustrer l'ampleur des avantages externes de l'amélioration des transports. Il élabore un modèle théorique d'économie urbaine qui met en relation

la productivité et les investissements dans les transports par le biais des effets sur la dimension des villes. Son objectif est d'opérer une distinction entre les variations du revenu réel provenant des investissements dans les transports en raison d'un effet (d'agglomération) productivité-taille de la ville et les avantages économiques observés dans les évaluations des transports traditionnelles découlant d'économies de ressources sur les trajets quotidiens domicile-travail ainsi que d'une augmentation de la production urbaine.

Le document de Venables illustre clairement les principaux éléments déterminants qui mettent en relation les transports et l'agglomération. Le Graphique 1 présente sous forme de diagramme le modèle issu du document de Venables.

Le Graphique 1a montre un équilibre urbain dans lequel la dimension de la ville est déterminée au point  $X$ , où l'écart salarial entre les travailleurs urbains et non urbains est absorbé dans les coûts de déplacement des travailleurs urbains les plus éloignés du centre d'affaires.

Graphique 1a, **Équilibre urbain**; b, **Gains nets résultant de l'amélioration des transports**; c, **Gains nets résultant de l'amélioration des transports avec une productivité endogène**



Le Graphique 1b indique que lorsque les transports sont améliorés, les coûts des trajets quotidiens domicile-travail diminuent et la ville s'étend par conséquent jusqu'au point  $X^*$ . La variation totale des ressources utilisées dans les trajets quotidiens domicile-travail correspond à  $\eta - \alpha$  et, lorsqu'elle est associée à la variation de la production ( $\beta + \eta$ ), produit un avantage net de  $\alpha + \beta$  résultant de l'amélioration des transports.

Dans le Graphique 1c, Venables présente les conséquences de l'existence d'un rapport productivité-taille de la ville. Si les villes plus importantes ont une productivité supérieure grâce aux externalités d'agglomération, l'écart salarial peut être exprimé, non pas comme un écart constant, mais comme une courbe concave qui augmente avec la taille de la ville. L'équilibre est atteint à l'intersection entre les coûts des trajets quotidiens domicile-travail et les courbes d'écart salarial. Le fait que la productivité ne soit pas constante par rapport à la taille de la ville signifie que le gain de revenu réel provenant de l'amélioration des transports correspond à  $\alpha + \beta + \delta$ , où  $\delta$  représente la mesure de l'augmentation de productivité chez les travailleurs urbains et est assimilable à une mesure de l'élasticité de la productivité par rapport à la dimension de la ville.

Venables démontre ainsi qu'il existe des avantages externes découlant des investissements dans les transports liés à l'agglomération et que ceux-ci peuvent être quantifiés en utilisant les élasticités de la productivité par rapport à une mesure de l'agglomération.

### 3. ESTIMER LES ÉCONOMIES D'AGGLOMÉRATION

Les études précédentes ont fait ressortir l'existence d'externalités d'agglomération pour le secteur de la fabrication, mais la couverture sectorielle des travaux existants est incomplète et l'analyse de l'agglomération est généralement fondée sur des données concernant des branches d'activités et des zones spatiales relativement agrégées.

La recherche décrite dans ce document se propose d'estimer un ensemble d'élasticités d'agglomération compatibles avec l'objectif consistant à évaluer les avantages économiques plus généraux des investissements dans les transports. Ce travail est réalisé pour un ensemble exhaustif de branches d'activités en vue de découvrir si les externalités d'agglomération sont réellement déterminantes d'un secteur à l'autre et si elles peuvent présenter une importance pour évaluer les avantages des investissements dans les transports<sup>2</sup>.

Les analyses empiriques utilisent les données au niveau de l'entreprise pour représenter la variance spatiale de la productivité ainsi que les données relatives aux petites zones pour élaborer des mesures de l'agglomération « constatée » par les entreprises. L'analyse se déroule en quatre étapes. La première étape consiste à rassembler les données sur les caractéristiques de production des entreprises dans un ensemble varié de secteurs. Ensuite, on fait appel à un système d'information géographique (SIG) pour identifier l'emplacement de chaque entreprise sur une carte électronique. Dans la troisième étape, un cadre des petites unités spatiales est appliqué sur la carte des entreprises ainsi obtenue pour élaborer des mesures de l'agglomération constatée par chaque entreprise à chaque emplacement. Enfin, les données des entreprises et les mesures de l'agglomération sont utilisées dans le cadre d'une fonction de production pour estimer l'effet de l'agglomération sur la productivité des entreprises.

L'approche micro au niveau de l'entreprise adoptée ici présente un certain nombre d'avantages par rapport à la méthode conventionnelle fondée sur l'utilisation de zones spatiales agrégées comme unités d'observation.

- (i) **Cohérence par rapport à la théorie** – les hypothèses sur lesquelles se fonde l'analyse des comportements de production impliquent que les entreprises, et non pas les zones spatiales agrégées, sont les unités décisionnelles de base. Par conséquent, la modélisation au niveau de l'entreprise est cohérente avec la théorie dont nous nous inspirons pour analyser la productivité.
- (ii) **Compatibilité des mesures de l'agglomération** – le fait de situer géographiquement chaque entreprise permet de saisir de nombreux détails de nature spatiale dans les mesures de l'agglomération en évitant d'utiliser des données fondées sur de grandes unités géographiques prédéfinies telles que les zones administratives ou métropolitaines. En outre, l'adoption d'une approche fondée sur la distance permet d'inclure une dimension de transport implicite dans la mesure de l'agglomération en considérant, non seulement l'échelle de l'activité économique à un certain niveau de concentration, mais aussi la façon dont cette échelle est accessible (proche) à chaque entreprise.
- (iii) **Représentation souple de la technologie de production** – les analyses qui s'appuient sur les données de production agrégées sur les entreprises exigent de partir de l'hypothèse d'une technologie homogène entre ces entreprises et de rendements d'échelle constants, restrictions qui peuvent donner lieu à des biais d'agrégation. Les données au niveau de l'entreprise permettent d'utiliser des formes fonctionnelles plus souples pour représenter la technologie.
- (iv) **Estimation économétrique** – l'utilisation de données détaillées au niveau de l'entreprise pour estimer la productivité peut contribuer à réduire la colinéarité multiple et à obtenir une variance plus discriminante (voir par exemple Griliches et Mairesse 1995).

### 3.1. Données sur les entreprises

Les données sur les entreprises utilisées pour les estimations portent sur les caractéristiques de production et de coûts des sociétés enregistrées au Royaume-Uni dans les secteurs à deux chiffres. Selon la législation du Royaume-Uni, chaque société enregistrée est tenue de fournir des informations comptables ainsi que des renseignements relatifs à ses opérations à une agence exécutive du Ministère du Commerce et de l'Industrie dénommée « *Companies House* ». Ces données sont rendues accessibles au sein d'un produit logiciel commercial dénommé « *Financial Analysis Made Easy (FAME)* », produit conjointement par Jordans et Bureau Van Dijk (BVD 2003). Les données sur la production se rapportent aux entreprises et non aux installations. Cependant, il est possible d'identifier et d'extraire de l'échantillon les entreprises multi-établissements, car elles signalent plus d'une adresse commerciale.

Les données FAME comprennent des informations financières détaillées sur chaque entreprise et sont disponibles pendant plusieurs années, bien que les relevés des séries chronologiques pour les entreprises individuelles soient irréguliers. Les données d'entrée essentielles dont nous disposons pour chaque entreprise comprennent une mesure du capital social et le nombre de salariés. Le capital social est la valeur des actifs détenus par une société : il comprend les « immobilisations », comme l'amortissement des bâtiments, des installations, des machines et des équipements, les « actifs circulants », comme les stocks et les créances clients de l'entreprise et les « exigibilités à court terme », à savoir les dettes de l'entreprise découlant de ses opérations commerciales normales. Les ventes sont utilisées pour représenter la production. On dispose en outre de données sur les salaires ainsi que sur les coûts totaux de chaque entreprise, qui comprennent tous les éléments directs des coûts liés aux activités ordinaires mises en œuvre par l'entreprise pour réaliser sa production.

### 3.2. Mesure de l'agglomération

La mesure de l'agglomération utilisée est calculée à partir d'un système fondé sur les circonscriptions, car il existe des données économiques détaillées sur ces zones<sup>3</sup> et le niveau de désagrégation spatiale est élevé grâce à une subdivision de la Grande-Bretagne (230 700 km<sup>2</sup>) en 10 760 unités environ.

À partir des données sur les circonscriptions, l'agglomération est représentée avec une mesure de la « densité effective ». Il s'agit essentiellement d'une mesure de l'agglomération relative à de très petites zones fondée sur l'accessibilité. La densité effective totale de l'emploi ( $U$ ) accessible à toute entreprise située dans la circonscription  $i$  correspond à :

$$U_i = \frac{E_i}{\sqrt{A_i/\pi}} + \sum_j^{i \neq j} \left( \frac{E_j}{d_{ij}} \right) \quad (1)$$

où  $E_i$  représente l'emploi total dans la circonscription  $i$ ,  $A_i$  la superficie de la circonscription  $i$ ,  $E_j$  l'emploi total dans la circonscription  $j$ , et  $d_{ij}$  la distance entre  $i$  et  $j$ . Remarquons que l'effet de densité relevé dans la circonscription où la société est effectivement établie (c'est-à-dire le premier terme de la partie droite de l'équation (1)) est mesuré par l'emploi total de la circonscription divisé par une variable de remplacement du rayon moyen de la circonscription, calculé en partant de l'hypothèse que les circonscriptions sont à peu près circulaires.

Il convient de mettre l'accent sur la dimension de transport implicite de l'équation (1). Notre mesure de la densité effective permet de représenter l'échelle et la proximité de l'activité économique présente à des endroits spécifiques. Nous partons du principe que les investissements dans les transports feront varier les densités effectives car ils modifieront la proximité relative de l'activité. Il y a lieu de noter que, dans l'équation (1), il est également possible de prendre pour dénominateur les temps de déplacement ou une mesure du coût de déplacement généralisé (voir par exemple Graham, 2007c).

### 3.3. Estimer la relation entre agglomération et productivité

S'agissant d'externalités, les économies d'agglomération sont considérées comme un type de composant de la technologie permettant de déplacer la production ou la fonction de coût de l'entreprise. Par exemple, à l'échelon de l'entreprise, une spécification type de la fonction de production serait la suivante :

$$Y = g(U) f(X) \quad (2)$$

où  $Y$  représente le niveau de production de l'entreprise,  $X$  un vecteur des facteurs de production et  $g(U)$  un vecteur des effets des économies d'agglomération sur la production.

Nous utilisons les données au niveau de l'entreprise pour fournir une représentation empirique de la fonction de production, ce qui permet d'estimer l'effet de l'agglomération sur la productivité des entreprises. Nous faisons appel en particulier à une variante de la fonction de production translog, qui inclut une fonction de production primaire ainsi qu'un ensemble d'équations de la demande inversée d'intrants pour la production introduisant des informations supplémentaires sur les coûts et les prix des facteurs de production. Grâce à cette approche spécifique, il est possible de décrire de manière assez complète la technologie de production des entreprises et d'analyser certains effets d'agglomération distincts sur la productivité. Une description du modèle translog utilisé est fournie à l'Annexe 1. Graham et Kim (2007) fournissent en outre une représentation complète de l'estimation des économies d'agglomération.

## 4. RÉSULTATS

Cette section présente les estimations de la relation entre l'agglomération et la productivité des industries du Royaume-Uni, obtenues à partir de la méthode de la fonction de production décrite ci-dessus. Elle fait ensuite le point sur quelques efforts récents visant à utiliser ces résultats dans le cadre de la méthodologie d'évaluation, afin d'estimer les avantages de l'agglomération sur les investissements dans les transports. Enfin, elle met en évidence certaines limites de cette approche et suggère des orientations pour les travaux futurs.

### 4.1. Estimations de la fonction de production

Les résultats présentés dans cette sous-section sont issus de Graham (2005) et Graham (2006), le but étant de fournir ici un simple aperçu des conclusions empiriques de ces travaux précédents. Pour une description complète de la méthodologie, des sources de données ou d'autres aspects techniques de la recherche, le lecteur est invité à consulter ces rapports plus détaillés.

Les résultats présentés concernent huit branches d'activité, identifiées selon les rubriques suivantes de la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique (CITI) :

- (i) Activités de fabrication (MAN) (rubriques CITI 15-40)
- (ii) Construction (CON) (rubrique CITI 45)
- (iii) Commerce de gros et de détail, hôtels et restaurants (DHC) (rubriques CITI 50-55)
- (iv) Transports, entreposage et communications (TSC) (rubriques CITI 60-64)
- (v) Activités immobilières (RE) (rubrique CITI 70)
- (vi) Activités informatiques et activités rattachées (rubrique CITI 72)
- (vii) Intermédiation financière (BFI) (rubriques CITI 65-67)
- (viii) Autres activités de services aux entreprises (BUS) (rubriques CITI 741-745)

Des estimations des économies d'agglomération sont obtenues séparément pour chaque groupe<sup>4</sup> à partir des analyses de la fonction de production. Elles sont exprimées sous forme d'élasticités indiquant la variation proportionnelle de la productivité associée à une variation proportionnelle du niveau d'agglomération. Le Tableau 2 ci-dessous présente les estimations des élasticités de la productivité par rapport à l'agglomération.

On observe des estimations positives des externalités d'agglomération dans le secteur de la fabrication, de la construction et pour chacune des six branches de services. L'élasticité d'agglomération la plus faible reportée dans le Tableau concerne les activités de fabrication (0.077). Les élasticités d'agglomération les plus élevées se rapportent aux branches des transports, entreposage et communications (0.223)<sup>5</sup>, de l'intermédiation financière (0.237), des autres activités de services aux entreprises (0.224) et des activités immobilières (0.192).

L'élasticité moyenne pondérée pour le secteur des services dans son ensemble correspond à 0.186 (les coefficients de pondération s'appuient sur les parts de l'emploi des groupes sectoriels). Cet élément indique

Tableau 2. Estimations des élasticités de la productivité par rapport à l'agglomération

| Branche d'activité                                   | Élasticité |
|--|------------|
| Activités de fabrication                             | 0.077      |
| Construction   | 0.072      |
| Commerce de gros et de détail, hôtels et restaurants | 0.153      |
| Transports, entreposage et communications            | 0.223      |
| Activités immobilières                               | 0.192      |
| Activités informatiques et activités rattachées      | 0.082      |
| Intermédiation financière                            | 0.237      |
| Autres activités de services aux entreprises         | 0.224      |
| Économie totale                                      | 0.119      |

que le doublement de l'accessibilité du potentiel économique s'accompagne d'une augmentation de la productivité de pratiquement 20 pour cent. L'élasticité du secteur des services est plus de deux fois supérieure à l'estimation des activités de fabrication correspondant à 8 pour cent. D'après les résultats fournis au Tableau 2, il semble donc que l'agglomération offre des rendements supérieurs dans les services par rapport aux activités de fabrication, notamment pour ce qui est des activités habituellement prévues dans les centres d'affaires, comme l'intermédiation financière, les activités de services aux entreprises et les activités immobilières. Le calcul d'une élasticité moyenne pondérée couvrant toutes les branches d'activité fournit une estimation de l'élasticité de la productivité par rapport à l'agglomération pour l'économie globale de 0.119 (12 pour cent).

#### 4.2. Application des élasticités d'agglomération aux évaluations des transports

Les résultats fournis ci-dessus étayent la théorie de l'augmentation des rendements d'agglomération dans un ensemble diversifié de branches d'activité économique. La proximité de la masse économique semble être déterminante et c'est pourquoi on peut supposer qu'une augmentation des densités effectives résultant des investissements dans les transports peut s'accompagner d'effets positifs sur la productivité à travers l'agglomération. Cependant, on peut encore s'interroger sur l'ampleur effective de ces effets dans le cadre de l'évaluation des transports. Ces effets apparaîtraient-ils insignifiants par rapport aux économies ordinaires sur les temps de déplacements ou seraient-ils effectivement susceptibles de faire la différence par rapport aux calculs de coûts-avantages ?

La réponse à ces questions dépendra en définitive des caractéristiques de chaque système spécifique. Toutefois, à titre illustratif, on peut tenir compte de quelques exemples récents d'évaluation *ex ante* où des avantages d'agglomération liés à certains investissements dans les transports au Royaume-Uni ont été calculés.

La première de ces évaluations a été réalisée par le Ministère des Transports du Royaume-Uni (DfT 2005). À partir des élasticités d'agglomération tirées de Graham (2005) et grâce à une méthodologie analogue à celle suggérée par Venables (2007), le Ministère des Transports a procédé à une nouvelle évaluation du projet de système ferroviaire londonien dénommé « Crossrail », afin d'étudier comment ces externalités pourraient avoir une incidence sur les effets positifs prévus des investissements. Le Tableau 3 présente les résultats de cet exercice<sup>6</sup>. Il indique qu'en incluant les effets économiques urbains, autrement dit les avantages d'agglomération, les effets positifs totaux du projet Crossrail augmentent de 25 pour cent.

La deuxième évaluation récente des avantages d'agglomération a été réalisée par des conseillers de la société Steer Davies Gleave (SDG), qui se sont eux aussi appuyés sur les estimations de l'agglomération fournies par Graham (2005). Ils ont procédé à une analyse économique complète des différents systèmes proposés pour la région Yorkshire et Humberside en Angleterre. Les résultats concernant les avantages d'agglomération estimés sont présentés au Tableau 4. Il ressort des calculs réalisés par SDG que les avantages pour les utilisateurs ordinaires s'accroissent normalement de 10 à 20 pour cent suite à l'augmentation des rendements d'agglomération.

Les chiffres reportés dans les Tableaux 3 et 4 indiquent que l'inclusion d'effets d'agglomération pourrait sensiblement développer les effets positifs estimés des projets de transport. S'ils sont aussi importants que le montrent ces récents exemples pratiques, les conséquences pour les décideurs en matière d'investissements dans les transports sont considérables.

Tableau 3. Application de la nouvelle évaluation de CrossRail  
(calculs du Ministère des Transports du Royaume-Uni)

| Avantages  | Bien-être (millions USD) |
|--|--------------------------|
| Économies de temps de l'entreprise                         | 4 847                    |
| Économies de temps des trajets quotidiens domicile-travail | 4 152                    |
| Économies de temps libre                                   | 3 833                    |
| Avantages totaux pour les utilisateurs (ordinaires)        | 12 832                   |
| Avantages d'agglomération                                  | 3 094                    |
| Avantages totaux (nouvelle approche)                       | 15 926                   |

Tableau 4. Évaluation des avantages d'agglomération procurés par les investissements dans les transports

| Mode               | Système  | Agglomération |
|--------------------|--|---------------|
| Route              | Axe routier amélioré Leeds-Bradford  | 21%           |
| Route              | Axe routier amélioré zone urbaine de Leeds   | 22%           |
| Transports publics | Amélioration des transports publics entre Leeds et Bradford                          | 15%           |
| Bus                | Subvention pour les autobus à l'intérieur de la ville de Leeds                       | 11%           |
| Route              | Axe routier amélioré Leeds-Sheffield   | 19%           |
| Route              | Bretelle M6  | 12%           |
| Bus                | Subvention pour les autobus du comté du West Yorkshire                               | 9%            |
| Transports publics | Principaux investissements dans les transports publics dans la zone urbaine de Leeds | 9%            |
| Bus                | Subvention pour les autobus du South & West Yorkshire                                | 7%            |
| Bus                | Subvention pour les autobus du South Yorkshire                                       | 3%            |

- Introduire des informations supplémentaires sur les avantages d'agglomération pourrait contribuer à définir les priorités des plans d'affectation des financements.
- Estimer des rendements de transport accrus pourrait permettre de dégager davantage de financements publics pour les investissements.
- Identifier les effets sur le PIB et sur le bien-être pourrait aider à évaluer les options entre les différents objectifs des plans de financement.
- Quantifier les effets du PIB pourrait aider à encourager la demande de contributions privées aux investissements dans les infrastructures.

### 4.3. Limites de l'approche et orientations pour les travaux futurs

Les travaux sur l'agglomération et les investissements dans les transports n'ont vu le jour que très récemment et la démarche existante présente un certain nombre de limites sur lesquelles il convient de se pencher davantage. L'identification empirique des économies d'agglomération présente d'innombrables difficultés. En général, les processus réels qui donnent lieu à ces externalités ne sont pas observés ; on utilise en revanche des variables reflétant les densités urbaines ou industrielles pour mesurer les gains d'efficacité agrégés que sont supposées offrir les villes et les grappes industrielles. La mesure et l'analyse de l'efficacité productive en soi posent également un certain nombre de problèmes, au même titre que les classifications disponibles pour décrire l'hétérogénéité sectorielle et fonctionnelle. Cette sous-section met l'accent sur certaines priorités pour les travaux futurs susceptibles de pallier les limites du traitement existant de l'agglomération dans l'évaluation des transports.

La première restriction manifeste de l'approche actuelle et du travail empirique présenté dans ce document est qu'ils fournissent peu de renseignements sur l'origine des effets positifs de l'agglomération sur la productivité. Les études théoriques suggèrent effectivement un certain nombre de sources d'avantages d'agglomération (à savoir les avantages du marché de l'emploi, les interactions de connaissances et le partage d'intrants), mais les études empiriques n'ont pas encore découvert l'ampleur des effets positifs sur la productivité résultant de chaque source. Dans le cadre de l'évaluation des transports, cela signifie que l'on ignore comment les sources de l'agglomération pourraient se rattacher aux mouvements de transport.

Cela peut en fait se révéler être une lacune importante dans notre connaissance. Lorsque des investissements sont réalisés dans les transports, ils ont habituellement des répercussions diverses sur les différents types de trajets. Certains investissements dans les transports se répercuteront principalement sur les déplacements professionnels, d'autres sur les trajets quotidiens domicile-travail et d'autres encore peut-être sur les déplacements pour le transport de marchandises. L'étendue des avantages d'agglomération globaux découlant d'un plan donné dépendra donc, non seulement de l'intensité avec laquelle les externalités d'agglomération sont actuellement freinées par la prestation de services de transport, mais aussi de la mesure dans laquelle l'agglomération est déterminée par les motifs et les différents modes de déplacement.

Un deuxième sujet de recherche, qui mérite davantage d'attention, concerne l'étendue géographique des économies d'agglomération et la façon dont elle est représentée dans l'évaluation. Ce thème se rapporte essentiellement à notre compréhension de la répartition spatiale des effets d'agglomération positifs susceptibles de découler des dépenses de transport. Ainsi, dans le cas d'un investissement dans les transports dans la zone de Central London, les avantages d'agglomération de cet investissement sont-ils uniquement accessibles dans la localité immédiate du projet ou sont-ils répartis par exemple sur toutes les zones de Central London, Inner London et Outer London, voire au-delà ? À l'évidence, il s'agit là d'une question cruciale. Les estimations de l'ampleur des effets bénéfiques des investissements sur la productivité grâce à l'agglomération peuvent changer radicalement selon que ces effets touchent un nombre relativement restreint ou un très grand nombre d'entreprises. Il est donc nécessaire d'en savoir davantage sur la façon dont les économies d'agglomération diminuent en fonction de l'éloignement de la source. Rice *et al.* (2006) abordent

cette question, qui mérite certainement d'être étudiée davantage dans le cadre des travaux empiriques sur l'agglomération et la productivité.

Enfin, la plupart des travaux existants en matière d'agglomération et de productivité présentent une série d'autres restrictions, qui font l'objet de recherches continues. Il s'agit notamment de problèmes d'identification engendrés par l'endogénéité et par les erreurs de mesure, à la spécialisation fonctionnelle urbaine et à la « qualité » des intrants<sup>7</sup>.

## 5. CONCLUSIONS

Le présent document a examiné la relation entre agglomération et productivité dans certains secteurs de l'économie du Royaume-Uni. Il a établi une mesure de la « densité effective » de l'accessibilité à la masse économique de petites zones, qui inclut une dimension de transport implicite. L'étude présentée ci-dessus vérifie l'association entre productivité et densité effective dans le cadre d'une analyse de la fonction de production translog au niveau de l'entreprise.

Ce travail se propose d'identifier les éventuels effets positifs externes provenant de l'offre d'infrastructures de transport non prises en compte dans les évaluations des transports classiques. Les résultats indiquent que les économies d'agglomération sont effectivement déterminantes et peuvent être consistantes, notamment dans le secteur des services. On calcule une élasticité d'agglomération moyenne pondérée de 0.119 pour l'ensemble de l'économie, de 0.186 pour le secteur des services et de 0.077 pour les activités de fabrication. On observe en outre une variation considérable de l'ampleur des élasticités d'une branche d'activité à l'autre.

Si les investissements dans les transports modifient les densités accessibles aux entreprises, en réduisant par exemple les temps et les coûts de déplacement, ils peuvent alors s'accompagner d'effets d'agglomération positifs. La disponibilité d'estimations fiables de la relation entre masse économique et productivité permet de quantifier ces avantages économiques « plus généraux ». D'après certaines applications récentes, l'effet des externalités d'agglomération n'est pas sans importance lorsqu'il est envisagé dans le cadre de l'évaluation des transports. Les calculs préliminaires font généralement apparaître des avantages accrus pour les usagers conventionnels de l'ordre 10 pour cent à 20 pour cent dérivant de l'augmentation des rendements de la masse économique.

## NOTES

1. Centre for Transport Studies, Imperial College London, London, SW7 2AZ, UK, Tél. : +4420-7594-6088, Fax: +4420-7594-6107, courrier électronique : d.j.graham@imperial.ac.uk
2. Dans cette analyse, nous nous intéressons à l'agglomération de toute l'activité économique, sans aucune distinction entre économies d'urbanisation et économies de localisation. Graham (2007b) utilise une approche analogue pour estimer les externalités issues de ces deux sources.
3. Nous utilisons les données sur l'emploi au niveau des circonscriptions issues de l'enquête annuelle auprès des entreprises (*Annual Business Inquiry – ABI*), recensement officiel de l'emploi en Grande-Bretagne.
4. Une estimation fondée sur une désagrégation sectorielle à un niveau à deux chiffres est fournie par Graham (2007a).
5. Il est intéressant de noter qu'une élasticité aussi élevée soit estimée pour les services de transports. Ce résultat peut être révélateur des rendements de densité croissants qui tendent à toucher les opérateurs de transport de sorte que les coûts unitaires baissent lorsque la densité du trafic augmente (voir par exemple Berechman 1993 et Graham *et al.* 2003).
6. Il est important de souligner que ces calculs ont été effectués par le Ministère des Transports (Department for Transport – DfT) du Royaume-Uni. La méthodologie complète ainsi qu'une présentation du projet Crossrail sont fournies dans le document de référence Dft 2005.
7. Certains éléments portent à indiquer que la spécialisation fonctionnelle peut varier systématiquement au sein de la hiérarchie urbaine : les grandes villes tendent à accueillir une proportion plus large d'entreprises qui possèdent des fonctions spécialisées impliquant la présence de personnel qualifié (voir par exemple Duranton et Puga 2005, Rice *et al.* 2006, Combes *et al.* 2007).

## RÉFÉRENCES

- Aaberg, Y. (1973). *Regional productivity differences in Swedish manufacturing*. *Regional and Urban Economics* 3, 131-156.
- Berechman, J. (1993). *Public transport economics and deregulation policy*. Amsterdam: North Holland.
- BVD (2003). *FAME: UK and Irish company information in an instant*. London: Bureau van Dijk.
- Ciccone, A. (2002). *Agglomeration effects in Europe*. *European Economic Review* 46, 213-227.
- Ciccone, A. et R. Hall (1996). *Productivity and the density of economic activity*. *American Economic Review* 86, 54-70.
- Combes, P., G. Duranton et L. Gobillon (2007). *Spatial wage disparities: Sorting matters!* *Journal of Urban Economics* (in press).
- DfT (2005). *Transport, wider economic benefits and impacts on GDP*. London: HMSO.
- Duranton, G. et D. Puga (2005). *From sectoral to functional urban specialisation*. *Journal of Urban Economics* 57, 343-370.
- Eberts, R. et D. McMillen (1999). *Agglomeration economies and urban public infrastructure*, Chapter in HP Cheshire and ES Mills (eds) *Handbook of regional and urban economics*, Volume III. New York: North Holland.
- Fogarty, M. et G. Garofalo (1978). *Environmental quality income trade-off functions with policy applications*. paper presented at the Southern Regional Science Association Meeting.
- Fujita, M. et J. Thisse (2002). *The economics of agglomeration: Cities, industrial location and regional growth*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Graham, D. J. (2005). *Wider economic benefits of transport improvements: link between agglomeration and productivity, Stage 1 Report*. London: DfT.
- Graham, D. J. (2006). *Wider economic benefits of transport improvements: link between agglomeration and productivity, Stage 2 Report*. London: DfT.
- Graham, D. J. (2007a). *Agglomeration, productivity and transport investment*. *Journal of Transport Economics and Policy* 41, 1-27.
- Graham, D. J. (2007b). *Identifying urbanization and localization externalities in manufacturing and service industries*. *Papers in Regional Science* (in press).
- Graham, D. J. (2007c). *Variable returns to agglomeration and the effect of road traffic congestion*. *Journal of Urban Economics* 62, 103-120.

- Graham, D. J., A. Couto, W. Adeney et S. Glasiter (2003). *Economies of scale and density in urban rail transport: effects on productivity*. Transportation Research E 39, 443-458.
- Graham, D. J. et H. Y. Kim (2007). *An empirical analytical framework for agglomeration economies*. Annals of Regional Science (in press).
- Griliches, Z. et J. Mairesse (1995). *Production functions: the search for identification*. NBER 5067.
- Henderson, J. (1986). *Efficiency of resource usage and city size*. Journal of Urban Economics 19, 47-70.
- Henderson, J. V. (2003). *Marshall's scale economies*. Journal of Urban Economics 53, 1-28.
- Kawashima, T. (1975). *Urban agglomeration economies in manufacturing industries*. Papers of the Regional Science Association 34, 157-175.
- Kim, H. (1992). *The translog production function and variable returns to scale*. Review of Economics and Statistics 74, 546-552.
- Louri, H. (1988). *Urban growth and productivity: the case of Greece*. Urban Studies 25, 433-438.
- Moomaw, R. L. (1981). *Productivity and city size: a review of the evidence*. Quarterly Journal of Economics 96, 675-688.
- Moomaw, R. L. (1983). *Spatial productivity variations in manufacturing: a critical survey of cross sectional analyses*. International Regional Science Review 8, 1-22.
- Moomaw, R. L. (1985). *Firm location and city size: reduced productivity advantages as a factor in the decline of manufacturing in urban areas*. Journal of Urban Economics 17, 73-89.
- Nakamura, R. (1985). *Agglomeration economies in urban manufacturing industries: a case of Japanese cities*. Journal of Urban Economics 17, 108-124.
- Rice, P., A. Venables et E. Patacchini (2006). *Spatial determinants of productivity: analysis for the regions of Great Britain*. Regional Science and Urban Economics 36, 727-752.
- Rosethal, S. et W. Strange (2004). *Evidence on the nature and sources of agglomeration economies*, Chapter in Henderson JV and Thisse JF (eds) Handbook of Regional and Urban Economics, Volume 4. Amsterdam: Elsevier.
- Shefer, D. (1973). *Localization economies in SMSA's: a production function analysis*. Journal of Regional Science 13, 55-64.
- Sveikauskas, L. (1975). *The productivity of cities*. Quarterly Journal of Economics 89, 392-413.
- Sveikauskas, L., J. Gowdy et M. Funk (1988). *Urban productivity: city size or industry size*. Journal of Regional Science 28, 185-202.
- Tabuchi, T. (1986). *Urban agglomeration, capital augmenting technology, and labour market equilibrium*. Journal of Urban Economics 20, 211-228.
- Venables, A. J. (2007). *Evaluating urban transport improvements: cost-benefit analysis in the presence of agglomeration and income taxation*. Journal of Transport Economics and Policy 41 (2), 173-188.

## ANNEXE 1 : LE MODÈLE TRANSLOG DE LA DEMANDE INVERSÉE D'INTRANTS POUR LA PRODUCTION

Le système de fonction de production translog généralisé fondé sur un système de demande inversée d'intrants a été proposé pour la première fois par Kim (1992) et appliqué intégralement par Graham et Kim (2007) pour estimer les économies d'agglomération.

Soit la fonction de production de la société

$$Y = f(X, U) \quad (3)$$

où  $Y$  désigne le niveau de production de la société,  $X$  un vecteur des facteurs de production avec des éléments  $X_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) et  $U$  les effets sur la production découlant des économies d'agglomération.

Si les intrants sont loués sur des marchés concurrentiels, les conditions de premier ordre pour maximiser la production faisant l'objet d'une contrainte en matière de dépense correspondent à :

$$\frac{\partial Y}{\partial X_i} = \lambda W_i, \quad (4)$$

où  $W_i$  est le prix de l'intrant  $i^{\text{th}}$  et  $\lambda$  est un multiplicateur de Lagrange qui est l'inverse du coût marginal  $\partial C / \partial Y$ . La contrainte en matière de dépenses est fournie par :

$$\sum_i W_i X_i = C, \quad (5)$$

où  $C$  représente le coût total.

À partir des équations (4) et (5)

$$\lambda = \frac{\sum_i (\partial Y / \partial X_i) X_i}{C} \quad (6)$$

et en remplaçant l'équation (6) par l'équation (4) après la modification, on obtient les équations suivantes de la demande inversée d'intrants :

$$\frac{W_i}{C} = \frac{\partial Y / \partial X_i}{\sum_i (\partial Y / \partial X_i) X_i} \equiv g_i(X, U) \quad (7)$$

Il est à noter que ces fonctions de demande inversée d'intrants déterminent les prix en fonction des quantités, contrairement aux fonctions de demande ordinaire qui déterminent les quantités en termes de prix. L'équation (7) peut être présentée sous forme de part de coût ( $s_i^C$ ) de la manière suivante :

$$s_i^C = \frac{W_i X_i}{C} = \frac{\partial \log Y / \partial \log X_i}{\sum_i \partial \log Y / \partial \log X_i} \quad (8)$$

En prenant une approximation translog de l'équation (3), on obtient :

$$\log Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^i \alpha_i \log X_i + \gamma_U \log U + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^i \gamma_{ij} \log X_i \log X_j + \sum_i \gamma_{iU} \log X_i \log U + \frac{1}{2} \gamma_{UU} (\log U)^2 \quad (9)$$

où  $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$  ( $i \neq j$ ) et, étant donné l'équation (8), la différenciation adéquate de (9) donne les équations de la part de coût :

$$S_i^C = \frac{\alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \log X_j + \gamma_{iU} \log U}{\sum_i \alpha_i + \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \log X_j + \sum_i \gamma_{iU} \log U} \quad (10)$$

Les paramètres translog peuvent être efficacement estimés en évaluant simultanément (9) et (10) comme un système de régression multivariée non linéaire. Cependant, étant donné que les équations de part de facteur s'ajoutent à l'unité, il est impossible de procéder à l'estimation du système complet, car la matrice de covariance d'écart est singulière et non diagonale. Le problème de la singularité est résolu en estimant simultanément la fonction de production translog primaire et les équations de part  $n - 1$ .

Les équations (9) et (10) sont estimées en tant que technique de la régression apparemment sans lien (RASL) utilisant une procédure en deux étapes qui permet d'estimer, en premier lieu, la matrice de covariance d'erreur grâce aux moindres carrés non linéaires et, ensuite, les paramètres qui minimisent la somme généralisée des carrés pour l'ensemble du système. On suppose que les erreurs aléatoires dans chaque équation sont réparties indépendamment des variables explicatives, ont une espérance mathématique de zéro et une variable constante. La technique RASL permet en outre d'établir une corrélation entre équations entre les termes d'erreur ; l'erreur dans chaque équation peut avoir une variance différente.

Le système translog de demande inversée d'intrants pour la production permet de généraliser par rapport aux spécifications précédentes en tenant compte d'une technologie de production non homothétique où les rendements d'échelle et l'élasticité de substitution varient avec le niveau de production et les proportions des facteurs. L'homothéticité, l'homogénéité et l'homogénéité linéaire représentent chacune une version restreinte de la fonction homothétique. À partir de l'équation (9), les rendements d'échelle sont mesurés comme suit :

$$\sum_i \frac{\partial \log Y}{\partial \log X_i} = \sum_i \alpha_i + \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \log X_j + \sum_i \gamma_{iU} \log U \quad (11)$$

La flexibilité dans les rendements d'échelle de part et d'autre de l'échantillon est particulièrement importante pour les objectifs visés car nous tenons à distinguer les économies d'échelle des effets d'agglomération. Pour nous acquitter efficacement de cette tâche, nous devons veiller autant que possible à ce que le terme de l'agglomération soit réellement distinct, c'est-à-dire qu'il ne prenne pas en compte certains effets de rendements d'échelle résiduels dus à l'ajustement inapproprié d'une fonction de production restrictive.

## Un cadre analytique pour les économies d'agglomération

Le système décrit ci-dessus offre un cadre analytique exhaustif pour l'analyse de l'agglomération. La spécification extrêmement générale ne nécessite pas d'hypothèses particulièrement difficiles sur l'incidence de l'agglomération (par exemple la neutralité de Hicks) et rend possibles les effets non linéaires. Trois dimensions d'agglomération, distinctes mais fortement corrélées, peuvent être identifiées dans l'utilisation de notre modèle. Premièrement, les rendements d'agglomération externes qui influencent la productivité globale des facteurs ainsi que la productivité des facteurs individuels, que nous dénommerons « *effets sur la productivité* ». Deuxièmement,

les *effets sur le prix des facteurs*, qui se manifestent à la suite de l'augmentation de la productivité des facteurs entraînée par l'agglomération. Troisièmement, les *effets sur les demandes de facteurs*, qui résultent de l'influence de l'agglomération sur les prix des facteurs. Chacune de ces dimensions est examinée tour à tour ci-dessous.

### *Effets sur la productivité*

Les effets sur la productivité agrégée des économies d'agglomération sont représentés par l'élasticité de la production par rapport à l'agglomération. Si l'on différencie l'équation (9) par rapport à  $U$ , on obtient :

$$\frac{\partial \log Y}{\partial \log U} = \gamma_U + \gamma_{UU} \log U + \sum_i \gamma_{iU} \log X_i \quad (12)$$

L'équation (12) mesure le déplacement total de la production découlant de l'agglomération et, par conséquent, les effets de l'agglomération sur la productivité globale des facteurs. Cet effet sur la productivité agrégée peut être décomposé en deux parties. Premièrement, un effet que nous appellerons « effet d'agglomération *direct* », qui est indépendant des niveaux des facteurs et varie en fonction du niveau d'agglomération ( $\gamma_U + \gamma_{UU} \log U$ ). Il convient de noter que la spécification quadratique permet de prendre en compte des effets d'agglomération non linéaires et, par conséquent, le type de baisse de rendements susceptible d'être envisagé par la théorie. Deuxièmement, un élément issu de l'effet produit par l'agglomération sur la productivité des facteurs de production étant donné le volume de facteurs de production utilisés ( $\sum_i \gamma_{iU} \log X_i$ ).

Pour déterminer l'effet d'agglomération sur la productivité des facteurs individuels, on a recours aux élasticités de production car elles représentent les produits marginaux logarithmiques de chaque intrant.

$$\frac{\partial \log Y}{\partial \log X_i} = \alpha_i + \gamma_{ij} \log X_j + \sum_i \gamma_{iU} \log U. \quad (13)$$

Si  $\gamma_{iU} > 0$  alors l'agglomération est associée positivement à la productivité du facteur  $X_i$ . Si  $\gamma_{iU} < 0$  alors l'agglomération est associée négativement à la productivité du facteur  $X_i$ . Les économies d'agglomération ne sont neutres au sens de Hicks que si  $\gamma_{iU} = 0$ .

Ainsi, en termes de productivité, notre modèle permet d'identifier trois types d'effets découlant des externalités d'agglomération : un effet agrégé sur la productivité globale des facteurs, un effet « direct » indépendant des facteurs de production et des effets spécifiques sur l'efficacité de chaque facteur. Par conséquent, une distinction entre les effets sur la productivité totale est possible. Cet aspect est important car on peut prévoir que l'agglomération se répercute de différentes façons sur l'efficacité. La possibilité de placer des effets d'agglomération non linéaires, par exemple du fait de la diminution des rendements, présente également un avantage.

### *Effets sur les prix*

Si l'agglomération entraîne des améliorations de productivité, celles-ci doivent être capitalisées dans les prix des facteurs de production ; ces effets sur les prix peuvent être identifiés au sein de notre modèle. Les équations de la demande inversée d'intrants (7) mesurent les prix virtuels ou la propension marginale des sociétés à payer des intrants à un niveau de dépense prédéfini. En situation d'équilibre, la propension marginale à payer un intrant doit être égale au prix. Si l'on nomme  $W_i/C$  «  $\hat{W}_i$  » et si l'on réécrit l'équation (10) sous forme de demande inversée d'intrants, on obtient :

$$\hat{w}_i = \frac{\alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \log X_j + \gamma_{iU} \log U}{\left( \sum_i \alpha_i + \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \log X_j + \sum_i \gamma_{iU} \log U \right) X_i} \quad (14)$$

Si l'on différencie d'un point de vue logarithmique l'équation (14) par rapport à  $U$ , on obtient :

$$\frac{\partial \log \hat{w}_i}{\partial \log U} = \frac{\gamma_{iU}}{(\partial \log Y / \partial \log X_i)} - \frac{\sum_i \gamma_{iU}}{\sum_i (\partial \log Y / \partial \log X_i)} \quad (15)$$

L'équation (15) identifie l'effet d'agglomération sur la propension à payer l'intrant  $i$  ou son prix. Ce phénomène est exprimé comme un effet de l'agglomération sur la productivité du facteur  $i$  ( $\gamma_{iU}$ ), étant donné la contribution de ce facteur à la production totale ( $\partial \log Y / \partial \log X_i$ ), moins l'effet de l'agglomération sur la productivité de tous les facteurs, étant donné la contribution de tous les facteurs à la variation de la production.

#### *Effets sur les demandes de facteurs*

Si le prix des facteurs de production varie systématiquement avec le niveau d'agglomération, on peut prévoir un effet sur les demandes de facteurs. En partant de l'équation (14), les élasticités de prix inversées de chaque facteur sont les suivantes :

$$\frac{\partial \log \hat{w}_i}{\partial \log X_i} = \frac{\gamma_{ii}}{(\partial \log Y / \partial \log X_i)} - \frac{\sum_j \gamma_{ij}}{\sum_i (\partial \log Y / \partial \log X_i)} - 1, \quad (16)$$

Ainsi, en utilisant l'équation (15), on peut déterminer comme suit l'effet d'agglomération sur les demandes de facteurs :

$$\frac{\partial \log X_i}{\partial \log U} = \left( \frac{\partial \log \hat{w}_i}{\partial \log X_i} \right)^{-1} \cdot \left( \frac{\partial \log \hat{w}_i}{\partial \log U} \right) \quad (17)$$

Les équations (12) à (17) fournissent un cadre empirique complet pour analyser les économies d'agglomération. Elles permettent de calculer les effets d'agglomération sur la productivité globale des facteurs, sur l'efficacité de chaque facteur, sur les prix des facteurs et sur les demandes de facteurs.



**INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT INTRA- ET INTERURBAINES  
MODÈLES ET MÉTHODES D'ÉVALUATION**

**Börje JOHANSSON**  
**Jönköping International Business School (JIBS)**  
**Jönköping**  
**Suède, et Centre of Excellence for Science and Innovation Studies**  
**Royal Institute of Technology (KTH)**  
**Stockholm**  
**Suède**



## SOMMAIRE

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1.  | LES RÉSEAUX ET L'ORGANISATION SPATIALE DES ÉCONOMIES .....  | 132 |
| 1.1 | Réseaux d'infrastructures et structure de localisation.....   | 132 |
| 1.2 | Identification des propriétés des infrastructures.....  | 133 |
| 1.1 | Identification des incidences de l'infrastructure sur l'économie et le bien-être .....              | 134 |
| 1.1 | Grandes lignes de l'exposé .....  | 135 |
| 2.  | RÉSEAUX DE TRANSPORTS ET ÉCONOMIES D'AGGLOMÉRATION .....  | 135 |
| 2.1 | Marchés locaux et distants .....  | 135 |
| 2.2 | Classification de la sensibilité à la distance .....  | 136 |
| 3.  | INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET NOUVELLE THÉORIE DE LA CROISSANCE.....                              | 138 |
| 3.1 | Croissance endogène et analyse causale de la croissance.....  | 138 |
| 3.2 | Évaluation de résultats discordants .....   | 139 |
| 3.3 | Incidences de l'infrastructure sur la productivité mesurées à l'aide de composantes physiques ..... | 141 |
| 4.  | RÉSEAUX ET ACCESSIBILITÉ .....  | 143 |
| 4.1 | Organisation spatiale et accessibilité .....  | 143 |
| 4.2 | Accessibilité aux emplois, choix aléatoire et migrations journalières .....                         | 145 |
| 4.3 | Différentes manières d'utiliser les mesures de l'accessibilité.....                                 | 147 |
| 5.  | RÉSULTATS EMPIRIQUES D'ÉTUDES REPOSANT SUR L'ACCESSIBILITÉ.....                                     | 150 |
| 5.1 | Les migrations journalières et l'organisation spatiale d'une FUR.....                               | 150 |
| 5.2 | Développement sectoriel dans les villes et les régions .....  | 151 |
| 5.3 | Croissance des FUR et interdépendances dans l'organisation spatiale.....                            | 153 |
| 5.4 | Estimation de croissance avec un système d'équation simultanée .....                                | 155 |
| 6.  | CONCLUSIONS ET REMARQUES .....  | 157 |
| 6.1 | La question de l'organisation spatiale et de l'échelle géographique .....                           | 157 |
| 6.2 | Examen des modèles de la section 5 .....  | 158 |
|     | RÉFÉRENCES .....  | 160 |

Jönköping septembre 2007



## SYNTHÈSE

Les investissements en infrastructures constituent des valeurs en capital importantes, tandis que les retombées bénéfiques et les autres conséquences se prolongent dans l'avenir. De ce fait, la question des méthodes d'évaluation des plans d'investissement est du plus haut intérêt. Le présent document met au point un cadre d'analyse dans lequel les réseaux d'infrastructures sont interprétés en tant que déterminants de l'organisation spatiale d'une économie, tandis qu'il est admis que cette même organisation a de l'effet sur la croissance des régions urbaines fonctionnelles (FUR) et de ce fait sur l'économie dans son ensemble. Le cadre proposé est formulé de façon à faciliter la modélisation des économies d'agglomération, et partant à opérer une distinction entre les flux de transport intra- et interrégionaux. Fondamentalement, il faudrait de préférence décrire les réseaux de transport à l'aide de leurs composantes (physiques) ; plusieurs mesures de l'accessibilité sont présentées dans cette optique. Ce type de mesures de l'accessibilité associe des informations sur les distances-temps entre nœuds dans une FUR et la structure de localisation correspondante.

Les initiatives pour estimer les fonctions de production globales et les fonctions duales associées sont évaluées eu égard à ce qu'il est convenu d'appeler la nouvelle théorie de la croissance ; il est conclu que cette méthode fonctionne mieux lorsque les données transrégionales sont utilisées en association avec des mesures de l'infrastructure qui rendent compte de certaines composantes.

L'examen de macro-approches est suivi d'un exposé qui explique en détail en quoi les mesures de l'accessibilité peuvent représenter l'organisation spatiale des FUR et les zones urbaines à l'intérieur d'une FUR. Ces mesures pourraient être utilisées comme variables explicatives dans des macro-modèles, mais l'exposé se concentre sur des applications dans des modèles de migrations journalières, et des modèles de croissance sectorielle. En particulier, ce document présente un modèle dans lequel l'accessibilité d'une zone urbaine individuelle à l'offre de main-d'œuvre et l'accessibilité de cette même zone aux emplois agissent l'une sur l'autre, dans le contexte d'une FUR. Des résultats empiriques relatifs à la Suède sont utilisés pour illustrer en quoi l'organisation spatiale et son évolution subit l'effet des réseaux interurbains de zones urbaines dans une FUR. Ce document soutient également que le modèle est en mesure de représenter certains aspects essentiels des contributions récentes à l'économie d'agglomération.

## 1. LES RÉSEAUX ET L'ORGANISATION SPATIALE DES ÉCONOMIES

### 1.1 Réseaux d'infrastructures et structure de localisation

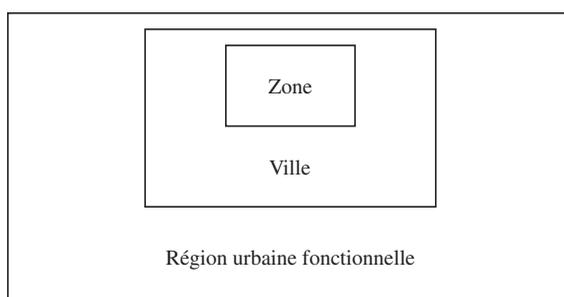
Dans l'exposé qui suit les services de transport sont divisés en flux intrarégionaux (locaux) et extrarégionaux (interrégionaux), qui se traduisent par le déplacement de biens, de personnes, et d'informations (messages). Les réseaux d'infrastructures permettent et facilitent ces mouvements. Cela signifie que les répercussions de l'infrastructure devraient faire apparaître des possibilités de services de transport, et notre perception de ces possibilités dépend de la manière dont nous décrivons et mesurons les propriétés des réseaux d'infrastructures.

La finalité du présent document est triple. La première mission consiste à mettre en lumière de quelle manière les infrastructures de transport pèsent sur l'organisation spatiale de l'économie, au niveau régional comme au niveau multirégional, à l'échelle du pays. La deuxième mission consiste à étudier – en s'appuyant sur les développements théoriques récents – en quoi l'organisation spatiale d'une économie se répercute sur l'efficacité et la croissance de l'économie. La troisième mission consiste à proposer des méthodes permettant d'évaluer les infrastructures existantes et des modifications des infrastructures à la lumière de leur impact sur l'économie.

Afin de proposer une formule pour l'analyse et l'examen de l'organisation spatiale, l'étude présente des concepts qui admettent que les zones urbaines sont un élément de base dans une géographie économique urbanisée. L'entité de base dans la formule est la région urbaine fonctionnelle (FUR) ou, selon une autre terminologie, la zone métropolitaine. Le préfixe « fonctionnelle » indique que dans une FUR toutes les implantations partagent le même marché du travail ainsi que le marché de la prestation locale de services aux entreprises. Dans la plupart des cas, une FUR se compose de plusieurs villes et d'agglomérations de type urbain plus petites. Lorsque la région compte une ville plus grande, elle peut être classée dans la catégorie des régions monocentriques ou plutôt unipolaires. Enfin, chaque ville est décomposée en zones, ce qui signifie que les « entités » spatiales sont classées comme l'illustre la Graphique 1.

Avec la formule ci-dessus, l'organisation de l'espace à l'échelle de l'économie est décrite par un système de FUR, souvent qualifié de système urbain (Henderson, 1982 ; Fujita et Thisse, 2002). Christaller, 1933,

Graphique 1. Concepts spatiaux pour une FUR



Lösch, 1940, Tinbergen, 1967 ont constaté de manière empirique qu'un système multirégional de ce type est hiérarchique. En substance, un système de villes s'étend au-delà des frontières du pays, même si chaque frontière entre deux pays représente un obstacle aux échanges qui pèse sur l'interaction transfrontière et sur les flux de transport (Ottaviano, Tbuchu et Thisse, 2002).

Les concepts présentés plus haut et illustrés dans la graphique 1.1 peuvent maintenant être appliqués pour formuler un principe cohérent permettant d'étudier l'organisation spatiale. Au niveau le plus bas de la résolution spatiale, on trouve la distance-temps et les coûts de transport associés entre chaque paire de zones dans une ville, entre chaque paire de villes dans une FUR, et entre chaque paire de FUR. Ce sont toutes des « valeurs de liaison » relatives aux nœuds au niveau local, régional et interrégional. Ces valeurs de liaison sont les composantes de base des informations décisionnelles qu'utilisent les entreprises et les ménages pour choisir leur lieu d'installation, et elles pèseront donc sur les structures de localisation (organisation spatiale). De plus les modifications d'un système de transport spatial auront de l'effet sur les valeurs de liaison et de ce fait elles modifieront progressivement l'organisation spatiale (Johansson et Klaesson, 2007).

## 1.2 Identification des propriétés des infrastructures

Le paragraphe précédent identifie des distances-temps entre nœuds ou, plus généralement, des valeurs de liaison qui font apparaître les coûts généralisés du transport comme une propriété de base de l'infrastructure. Ce type d'information constitue également la contribution la plus fondamentale à l'analyse coûts-avantages classique des investissements en infrastructures, qui est axée sur les améliorations d'efficacité. Cette méthode reste statique par nature et met l'accent sur les évolutions marginales ou ponctuelles des possibilités de transport. Starret (1988) démontre de manière convaincante que les méthodes d'analyse coûts-avantages ont été conçues pour résoudre au mieux ce type de problèmes d'évaluation.

En particulier, l'évaluation du bien-être à l'aide d'analyses de type coûts-avantages a été spécialement appliquée pour évaluer les investissements réalisés sur des liaisons spécifiques, mais l'on trouve aussi des exemples intéressants de procédures dans lesquelles des changements interviennent dans le contexte d'un réseau (Mattsson, 1984, par exemple). Dans une analyse véritablement axée sur le réseau, il est convenu de dire que les flux d'interaction sont fonction de l'activité, et lorsque c'est le cas, les propriétés de l'infrastructure sont identifiées et décrites d'une manière qui concorde également avec les théories émergentes de l'économie spatiale telles que la nouvelle géographie économique (Krugman, 1991), l'économie d'agglomération (Fujita et Thisse, 2002), l'économie des retombées en termes de connaissances et d'innovation (Karlsson et Manduchi, 2001), la nouvelle théorie de la croissance (Roemer, 1990), et la nouvelle théorie des échanges (Helpman, 1984). Toutes ces voies émergentes font référence à la concurrence imparfaite, aux économies d'échelle et aux externalités. Dans la plupart des cas, elles laissent également entendre que l'évolution des coûts de transport et d'autres coûts de transaction géographique comptent (Johansson et Karlsson, 2001), et que l'organisation spatiale importe donc pour la productivité et la croissance – pour les régions et pour les cumuls entre régions.

Étant donné l'examen qui précède, admettons avec prudence que les propriétés des infrastructures se répercutent sur l'organisation spatiale, dont nous supposons qu'elle a de son côté de l'effet sur la productivité ainsi que sur l'augmentation de la productivité. Comment pouvons-nous alors identifier les propriétés de l'infrastructure ? Selon Lakshmanan et Andersson (2007a, 2007b), il conviendrait d'envisager les solutions suivantes :

- (i) La valeur en capital des objets d'infrastructure et la somme de ces valeurs, lorsque les valeurs en capital sont incluses en tant que facteurs de production dans des modèles qui appliquent des fonctions de production, de coût et de bénéfice pour déterminer l'incidence de l'infrastructure sur l'économie.

- (ii) Les propriétés physiques ou concrètes des objets d'infrastructure et des réseaux d'infrastructures. De telles mesures incluent une définition des distances-temps, de la capacité, du confort et des coûts de transport. Les caractéristiques de capacité sont, par exemple, la longueur et le débit des routes.
- (iii) Des mesures globales des propriétés physiques et de valeur d'un réseau, comme la connectivité et l'accessibilité entre nœuds. Les mesures de l'accessibilité, en particulier, associent des propriétés de liaison et les caractéristiques des nœuds du réseau, ce qui permet de décrire des possibilités d'interaction à l'aide d'un vecteur de mesures d'accessibilité. Cette méthode est théoriquement liée à des modèles de flux de transport centrés sur l'activité.

### 1.3 Identification des incidences de l'infrastructure sur l'économie et le bien-être

Envisageons la possibilité que l'infrastructure de transport existante a de l'effet sur l'organisation spatiale et sur la croissance de l'économie dans les villes et les FUR. Cela signifie que l'incidence de l'infrastructure sur le développement économique peut se concentrer à différentes échelles spatiales telles que :

- Les conséquences dans chaque FUR
- Les conséquences dans les macro-régions comme les États fédéraux en Allemagne et aux États-Unis
- Les conséquences à l'échelle du pays

Dans une méthode classique utilisant l'analyse coûts-avantages, les conséquences soulignées sont (i) les gains de temps pour différentes catégories d'usagers du système de transport, (i) des risques d'accident réduits, des coûts liés aux véhicules réduits, d'autres effets sur le plan des coûts, notamment la valeur monétaire des effets environnementaux. Pour être fiable, une analyse coûts-avantages doit s'intéresser à l'évolution des usagers du réseau dans le temps, ce qui signifie qu'elle doit étudier l'impact d'une organisation spatiale changeante associée à des modifications du système de circulation.

Comment classer les effets d'une organisation spatiale changeante de l'économie ? Des approches globales qui appliquent des fonctions de production et des fonctions duales tels que les fonctions de bénéfices et de coûts analysent l'évolution de la production, de la productivité et du niveau des coûts. Les fonctions de production peuvent être définies pour l'ensemble de l'économie ou pour des secteurs distincts, et elles peuvent porter sur des FUR, des macro-régions et sur un pays entier. On considère qu'une fonction globale peut faire la synthèse des effets au microniveau.

Par opposition à la méthode de la fonction de production, les récents développements de l'économie d'agglomération, de l'économie de l'innovation et de la nouvelle géographie économique laissent entendre que l'analyse doit s'intéresser à l'organisation spatiale d'une manière plus directe, que ce soit au niveau des zones urbaines, des villes ou des FUR. On considère alors que les propriétés des infrastructures se répercutent sur des phénomènes tels que les (i) marchés du travail, (ii) les marchés des intrants intermédiaires, (iii) les marchés de clients des entreprises et (iv) sur l'interaction avec les autres entreprises et les fournisseurs de connaissances dans leurs activités de développement, notamment la R-D. Ces phénomènes peuvent être concrétisés par l'accessibilité des entreprises à l'offre de main-d'oeuvre, aux fournisseurs d'intrants, aux clients, et aux fournisseurs de connaissances. À mesure qu'augmente l'accessibilité aux fournisseurs d'intrants, une diversité accrue est supposée entraîner une productivité accrue, et à mesure que s'améliore l'accessibilité aux clients, les entreprises peuvent mieux exploiter les économies d'échelle. Suivant autre point de vue, on peut aussi évoquer l'accessibilité des ménages aux possibilités d'emploi, à l'offre de services domestiques. La somme logarithmique de ces mesures de l'accessibilité peut être utilisée comme indicateur de bien-être (Mattsson, 1984, par exemple).

## 1.4 Grandes lignes de l'exposé

La section 2 donne les grandes lignes d'un cadre d'analyse permettant de comprendre les réseaux de transport intra- et extrarégionaux en opérant une distinction entre les marchés locaux et distants et une classification des distances-temps. Cela se rapporte à l'économie d'agglomération. La section 3 utilise le cadre d'analyse pour évaluer des macro-modèles centrés sur l'impact des infrastructures de transport sur la productivité. La section 4 expose une méthode permettant de représenter l'organisation spatiale d'une région à l'aide de mesures de l'infrastructure. Cette méthode est présentée comme compatible avec des modèles aléatoires de choix dans des modèles de comportement de déplacement et des modèles de transport analogues. La section 5 présente un ensemble d'exercices économétriques utilisant des données relatives à la Suède permettant de modéliser et de prévoir (i) les flux de migrants journaliers intraurbains et interurbains, (ii) l'augmentation des emplois et des industries dans les zones urbaines et dans les FUR, et (iii) l'évolution interdépendante de l'offre de main-d'oeuvre et de l'offre d'emplois dans les zones urbaines ainsi que pour des FUR entières. La section 6 fait office de conclusion et propose de nouvelles orientations pour de futures recherches.

## 2. RÉSEAUX DE TRANSPORTS ET ÉCONOMIES D'AGGLOMÉRATION

### 2.1 Marchés locaux et distants

Dans les années 70 encore les analyses de la croissance économique régionale utilisaient un modèle centré sur les exportations, selon lequel l'économie d'une région est amenée à se développer à mesure que la demande du reste du monde augmente (Armstrong et Taylor, 1978). Le modèle prévoit alors que la production de services augmente en réponse à des revenus accrus dans la région. Dans les années 50 déjà cette approche a été modifiée par les analyses d'intrants-extrants interrégionaux, dans des modèles qui combinent la fourniture intra- et interrégionale de biens et de services (Isard, 1960, par exemple).

À compter du début des années 80, le point de vue sur la croissance économique change dans de nombreux domaines de l'économie. De nouveaux modèles de croissance macroéconomique sont mis au point pour mettre en avant des facteurs autres que la main-d'œuvre et le capital, et pour modéliser la croissance d'un processus endogène (Romer, 1986 ; Barro et Sala-i-Martin, 1995, par exemple). Ces initiatives et les travaux connexes servent de toile de fonds à des modèles dans lesquels le capital public et le capital d'infrastructures constituent des facteurs explicatifs dans les fonctions de (macro) production globales. L'importance accrue accordée à ce type de phénomènes s'est également traduite par le développement d'une modélisation de la croissance régionale et d'études empiriques.

L'ambition déclarée de modéliser les économies d'échelle d'une manière conforme à la théorie est une nouveauté de premier ordre dans cette piste de recherche. Dans ce contexte, la nouvelle économie géographique (NEG) est développée, avec des modèles qui opèrent une distinction claire entre les prestations locales aux clients situés à l'intérieur d'une région et aux clients situés à l'extérieur (Krugman, 1990, 1991 par exemple). D'autres contributions se concentrent sur l'économie d'agglomération en tant que facteur d'amélioration de la productivité et de la croissance de la vie économique urbaine (Henderson, 1981 ; Fujita, 1986 ; Fujita et Thisse, 2002, par exemple). Une autre voie de recherche encore met l'accent sur la capacité d'innovation des régions, en référence à ce qu'il est convenu d'appeler l'hypothèse de Jacobs relative au rôle de la diversité urbaine (Jacobs, 1969, 1984 ; Feldman et Audretsch, 1999). En substance, ces différentes

contributions montrent que la vie économique urbaine est réellement différente des processus d'échange interurbain, et elles soulignent le fait que la taille des régions urbaines a de l'importance.

Certaines conclusions tirées du développement de la théorie décrite sont résumées dans le Tableau 1, qui s'efforce d'apporter des éclaircissements sur la distinction opérée entre l'interaction et les transactions intrarégionales et extrarégionales. Dans le contexte intrarégional, les échanges et prestations sensibles à la distance sont une caractéristique essentielle, et exigent des réseaux de contact intraurbains. À l'opposé, l'interaction et les transactions interrégionales sont liées à la fourniture de biens et de services peu sensibles aux distances et qui peuvent être conditionnés et distribués en grandes quantités. Les caractéristiques et conditions d'efficacité des réseaux d'infrastructures correspondants sont différentes de celles de l'interaction intrarégionale axée sur le face à face.

Tableau 1. Le rôle des marchés locaux et distants dans le développement économique

| Phénomènes de marchés intrarégionaux   | Phénomènes de marchés extrarégionaux  |
|--|---|
| Production autosuffisante  | Production pour la demande extrarégionale   |
| Marchés locaux qui favorisent des contacts en face à face fréquents entre les acheteurs et les vendeurs    | Marchés distants avec des contacts induits entre les acheteurs et les vendeurs et des systèmes de livraison organisés |
| Concurrence locale   | Concurrence mondiale  |
| L'infrastructure est conçue pour assurer l'accessibilité locale  | L'infrastructure est conçue pour assurer l'accessibilité dans des réseaux mondiaux                                    |
| De faibles coûts de transaction intrarégionale stimulent le développement                                  | De faibles coûts de transaction extrarégionale stimulent le développement   |
| La croissance économique est déterminée par la croissance de la population et la diversification régionale | La croissance économique détermine l'accroissement géographique   |
| Croissance économique endogène autoproduite  | La demande exogène et les améliorations de la productivité autoproduite stimulent la croissance économique            |
| La diversité et le bien-être dépendent de la taille de la région   | La diversité peut stimuler l'accroissement de la productivité et le développement des exportations                    |

## 2.2 Classification de la sensibilité à la distance

Dans l'exposé suivant nous nous intéressons à une géographie présentant la structure suivante : l'unité de base est une région fonctionnelle, à quelques exceptions près une région urbaine fonctionnelle, c'est-à-dire une FUR, qui regroupe généralement plusieurs villes de taille différente. En ce sens une FUR est multicentrique. Cependant, à quelques rares exceptions près une ville se détache comme la plus grande, et la FUR est donc une région unipolaire. Pour chaque ville, nous examinerons un ensemble de zones et un ensemble de liaisons qui font de la ville ainsi que de la région dans son ensemble un réseau de relations de transport et de nœuds d'activité, abritant des bâtiments résidentiels et les locaux d'entreprises.

Soient deux zones (nœuds dans des zones urbaines), appelées  $k$  et  $l$ , et  $t_{kl}$  la distance-temps de la liaison ( $k, l$ ). Ces distances de liaison peuvent être associées à différents autres modes de transport, et nous pourrions ensuite préciser des distances-temps spécifiques au mode pour chaque liaison. Pour le moment

nous n'examinerons qu'une seule valeur de distance-temps pour chaque liaison. Avant de poursuivre, il y a lieu de souligner que l'importance que revêt une liaison ( $k$ ,  $l$ ) pour une ville dépend des caractéristiques du nœud  $k$  et du nœud  $l$ , telles que le nombre d'habitants du nœud, le nombre d'emplois, la taille et la diversité de l'offre de services aux ménages et aux entreprises.

Si l'on s'intéresse aux données suédoises, qui, à en croire les études, semblent assez représentatives, les distances-temps peuvent être divisées en distances locales (intra-urbaines), régionales (intra-régionales) et interrégionales (extrarégionales) comme défini dans le Tableau 2.

Tableau 2. Classification des distances-temps entre zones

|  | Intervalle de temps en minutes | Temps de trajet moyen en minutes |
|--|--------------------------------|----------------------------------|
| Entre zones dans la même ville (local)   | 0-15                           | 8-12                             |
| D'une zone dans une ville à des zones dans d'autres parties de la FUR (régional) | 15-50                          | 25-35                            |
| D'une ville dans une FUR à une ville dans une autre FUR (interrégional)          | Plus de 60                     | Plus de 60                       |

Le Tableau 2 nous permet de faire plusieurs constats. Le premier concerne l'existence de terres faiblement peuplées entre les villes et partant également l'existence de ce type de terres entre les FUR. Si le territoire d'un pays est divisé en zones de FUR complètes et qui s'excluent mutuellement, certaines parties de la géographie ne correspondront pas aux caractéristiques de temps du tableau. Cependant, du point de vue du transport, la circulation sur les liaisons desservant ces lieux est tellement limitée (ou peu fréquente) que statistiquement sa mesure sera proche de zéro, et de ce fait elle pourra être ignorée quelles que soient les finalités pratiques.

Le deuxième constat est que l'espacement entre les liaisons intrarégionales et extrarégionales présente un intervalle vide, de 50 à 60 minutes. Une fois encore, cela montre que les FUR ou les zones métropolitaines sont normalement suffisamment éloignées les unes des autres pour être séparées par des « terres vides », comme nous venons de le mentionner ci-dessus.

En guise de troisième constat, nous notons que le Tableau 2 donne une définition implicite d'une FUR. C'est une zone fonctionnelle, pour laquelle la distance-temps entre une quelconque paire de zones (ou la plupart d'entre elles) est inférieure à 50 minutes. De ce point de vue une FUR permet aux entreprises et aux ménages d'avoir des contacts fréquents avec les prestataires des services domestiques et aux entreprises. Ainsi, la zone métropolitaine est aussi un lieu d'interaction et de diffusion des connaissances. De plus, la FUR peut être un bassin d'emploi intégré. En outre, chaque ville elle-même est un lieu d'interactions en face à face très fréquentes, même si seules les plus grandes villes de la région abritent suffisamment d'acteurs pour offrir des possibilités d'interaction fréquentes.

Il convient d'examiner un dernier aspect du Tableau 2. Les suggestions de modèles des sections 4 et 5 sont doubles. Premièrement, avec la réduction des distances-temps, une part croissante de l'ensemble des livraisons n'est pas planifiée ou prévue à l'avance, mais peut se faire à bref délai. S'agissant des longues distances-temps, la situation est inversée : elles s'accompagneront généralement de dispositions relevant davantage de la logistique, comme le groupage des expéditions, les voyages polyvalents, l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement et d'autres arrangements de ce type. Deuxièmement, le développement

théorique de l'économie d'agglomération nous dit que les activités qui présentent des interactions fréquentes ont intérêt à se regrouper dans le voisinage les unes des autres.

Nous pouvons également affirmer qu'une mesure des distances-temps incorpore à la fois les économies et les déséconomies de densité. Lorsque les activités et les interactions d'une zone urbaine deviennent trop denses, des phénomènes de congestion apparaissent et les distances-temps auront tendance à augmenter. De nouveaux réseaux d'infrastructures peuvent une fois encore remédier à ce type d'évolution.

### 3. INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET NOUVELLE THÉORIE DE LA CROISSANCE

#### 3.1 Croissance endogène et analyse causale de la croissance

Les infrastructures de transport ont un effet sur les possibilités d'interaction à l'intérieur des régions et entre elles, et en ce sens elles influent sur l'efficacité économique. Nous pouvons alors nous demander si une efficacité améliorée donne une quelconque indication sur la croissance économique régionale. Dans un cadre néoclassique strict, il n'existe pas de lien direct entre l'efficacité et la croissance. Mera (1973) ouvre des perspectives sur un lien entre l'infrastructure et la croissance économique, l'infrastructure publique agissant sur la productivité. Nous pouvons identifier une série d'études réalisées au cours des années 80 qui appliquent des fonctions de production nationale et régionale et de coût, dans lesquelles l'infrastructure est un facteur de production (Wigren, 1984 ; Elhance et Lakshmanan, 1988 ; Deno, 1988, par exemple). L'étude des incidences de l'infrastructure sur la productivité s'est fortement intensifiée avec plusieurs documents de Aschauer (1989, 2000).

Les efforts pour modéliser et estimer le rôle des infrastructures de transport peuvent être classés en deux pistes de recherche. Suivant la première, les infrastructures de transport sont représentées par la valeur en capital, comme une forme de capital public, et renvoient ainsi à la question générale suivante : Le capital public est-il productif ? On trouvera deux études représentatives de ce type dans Aschauer (1989), qui propose un modèle global de fonction de production de l'économie américaine, et dans Aschauer (2000), qui propose un modèle global défini pour un ensemble de macro-régions.

La deuxième piste de recherche consiste à mesurer les infrastructures de transport sur le plan de leurs composantes « physiques », une approche qui est appliquée avant tout aux données régionales transversales ou aux données de panel provenant d'un ensemble de régions. Avec cette méthode, l'infrastructure des transports peut être représentée par une variable telle que la densité des autoroutes ou le degré d'agglomération (Moomaw et Williams, 1992 ; Carlino et Voith, 1992 par exemple).

Les deux méthodes utilisées pour évaluer les effets du capital d'infrastructure sur la productivité et la croissance sont fondamentalement différentes. Le capital d'infrastructure est une mesure unidimensionnelle, qui ne devrait normalement pas fonctionner lorsqu'elle est appliquée à des investissements différents ou à des régions différentes. Une autoroute qui apporte exactement les mêmes solutions dans deux régions différentes devrait y produire les mêmes effets. Cependant, si cela revient beaucoup plus cher de la construire dans la première région, la valeur en capital sera plus élevée dans cette région et, de ce fait, l'élasticité du rendement d'une autoroute sera différente d'une région à l'autre. Ce problème disparaît avec une mesure physique.

Une problématique analogue consiste en la possibilité de décrire le capital d'infrastructures de transport à l'aide d'un vecteur au lieu d'une valeur unique, chaque composante renvoyant à un type spécifique de capital de transport, comme la route, le rail, les aéroports, etc.

Si les valeurs en capital sont utilisées pour de grandes régions ou pour un pays entier, on pourrait s'attendre que les problèmes ci-dessus disparaissent grâce à la loi des grands nombres. Nous pouvons également constater le schéma suivant :

- L'économétrie des séries temporelles appliquée aux pays utilise généralement une valeur en capital globale des infrastructures de transport.
- L'économétrie transrégionale et l'économétrie des données de panel utilisent généralement les composantes physiques des infrastructures de transport.

Quel est alors le cadre théorique des analyses globales à l'échelle du pays du rôle des infrastructures de transport dans la croissance économique ? D'un côté elles soutiennent l'idée sous-jacente de la croissance endogène. Cependant, les études contiennent très peu de références explicites à la croissance endogène, même s'il est très probable que la méthode gagnerait à étudier des formules de modélisation de ce type. D'une part, le capital d'infrastructure est dans une certaine mesure public comme le sont les connaissances dans le modèle de base de la croissance endogène. Malgré cela les études principales auxquelles il est fait référence prennent la forme d'une analyse causale de la croissance.

Une autre problématique de ces études consiste à choisir entre l'estimation d'une fonction de production ou d'une fonction de coût pour l'économie ou pour un ensemble de secteurs différents. Seitz (1993) et Nadiri et Mamanueas (1991, 1996) offrent des exemples d'études utilisant une méthode avec fonction de coût. Quels sont alors les avantages de la méthode utilisant la fonction de coût (ou la fonction de bénéfices) ? Pour résumer, une estimation réalisée à l'aide de la fonction de coût est directement étayée par la théorie de la microéconomie, parce que

- L'estimation repose sur des hypothèses d'optimisation
- Les conditions de dualité telles que le lemme de Shephard favorisent des conclusions maîtrisées
- La méthode permet une distinction entre des coûts variables et fixes
- La méthode permet d'envisager des économies d'échelle
- L'estimation étudie comment les ajustements de l'offre et de la demande agissent sur l'accroissement de la productivité
- La méthode comprend non seulement les facteurs capital et travail, mais aussi les intrants intermédiaires

### 3.2 Évaluation de résultats discordants

Lakshmanan et Anderson (2007) font observer que toute la gamme des études réalisées sur la productivité de l'infrastructure a donné lieu à des estimations assez discordantes de l'élasticité de la production et des coûts. Ces résultats sont très différents pour le même pays, pour les pays qui se situent au même stade de développement et pour les pays qui se situent à des stades différents de développement. Cela soulève la question suivante : la modélisation macroéconomique des infrastructures de transport est-elle incapable d'incorporer des liaisons transport-économie essentielles ? Dans ce contexte, plusieurs problèmes sont mis en évidence tels que (i) les qualités de réseau des routes et des autres modes de transport, (ii) les phénomènes de seuil dans le développement du transport, (iii) l'état du réseau de transport préexistant, (iv) l'état du développement dans les régions qui procèdent à l'amélioration de leurs transports, (v) la structure des marchés

dans les régions, (vi) la présence d'économies d'agglomération spatiale, et (vii) le potentiel d'économies d'innovation.

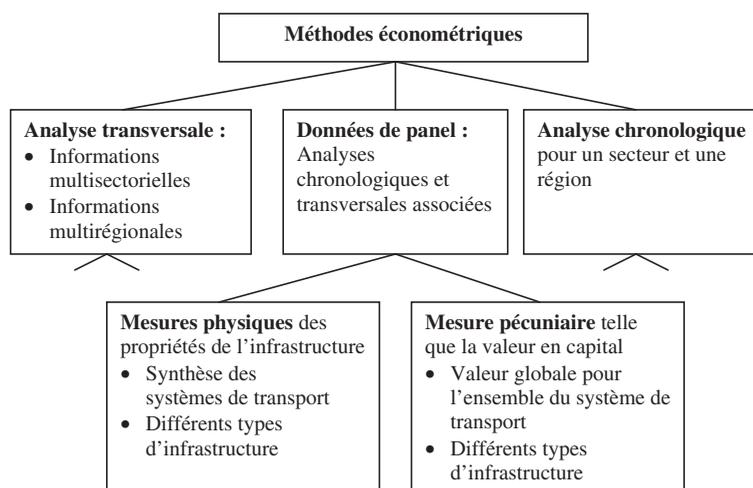
Lakshmanan et Andersson (2007) examinent ce qu'ils appellent la vision traditionnelle selon laquelle les infrastructures de transport contribuent à la croissance économique et à la productivité. Ce faisant, ils font valoir qu'un ensemble d'études récentes reposant sur une méthodologie sophistiquée produisent des estimations sensiblement discordantes de la productivité des infrastructures de transport, dans lesquelles le rendement des investissements en transports varie de façon inquiétante. L'exposé suivant soutient que l'une des raisons de l'absence de cohérence entre ces travaux empiriques tient à la manière dont les infrastructures de transport sont identifiées et mesurées.

La mesure et la définition des infrastructures de transport donne lieu à un ensemble de choix en partie liés tels que

- Une mesure globale des infrastructures de transport ou un vecteur définissant des types différents d'infrastructure
- Des caractéristiques nationales relatives à l'infrastructure des transports disponible ou des spécifications régionales
- La valeur en capital des infrastructures de transport ou les propriétés physiques et systémiques de l'infrastructure.

Les possibilités ci-dessus peuvent être incorporées à de nouvelles méthodes économétriques. Par exemple, certaines études appliquent une analyse transversale, tandis que d'autres utilisent des analyses chronologiques. De plus, le choix de l'analyse transversale permet d'établir une distinction entre les industries (secteurs de l'économie), et entre des informations multirégionales. En combinant ces différentes observations, les possibilités de méthodes économétriques peuvent être définies comme l'illustre la Graphique 2.

Graphique 2. **Aperçu des méthodes d'estimation de la productivité de l'infrastructure**



Les analyses chronologiques, transversales et les analyses de données de panel permettent toutes de choisir entre l'appréciation (i) des composantes physiques et (ii) des valeurs pécuniaires de l'infrastructure. Les études initiales de la productivité de l'infrastructure utilisaient des analyses chronologiques avec une valeur en capital globale, le PIB constituant la variable dépendante. Naturellement, le résultat de ces études ne peut constituer une aide à la décision utile que dans le cas de problèmes macroéconomiques, comme les

questions classiques d'Aschauer : les dépenses publiques sont-elles productives ou les États optimisent-ils ? Les élasticités estimées ne sont pas utiles pour des décisions d'investissement individuelles pour les raisons suivantes :

- Les coûts de deux projets d'autoroute différents qui génèrent la même « quantité de services de transport » peuvent varier d'un facteur de 2 ou 3. Ainsi, il n'existe pas de corrélation entre les valeurs en capital et la quantité de services. Cet argument est amoindri dans l'agrégat en raison de la loi des grandes nombres.
- Si les valeurs de différents types d'infrastructures comme les routes, les chemins de fer et les aéroports sont regroupées, les résultats seront ambigus. Au contraire un vecteur avec des composantes de valeur en capital se rapportant à différents types d'infrastructures peut révéler des effets sur la composition du système ou des effets de substitution. Une fois encore, le résultat obtenu présentera un intérêt uniquement pour un « projet d'investissement moyen ».

La deuxième solution est appelée « appréciation physique ». De toute évidence, ces mesures doivent être collectées de manière détaillée, avec des informations provenant des régions, en particulier des données issues des FUR. Cependant, il nous faut d'abord expliquer ce que l'on entend par « composantes physiques ». Pour les routes, on peut utiliser des variables telles que (i) les autoroutes par zone régionale, (ii) le débit par zone régionale, (iii) les distances-temps pour rejoindre les régions métropolitaines voisines, (iv) les distances-temps pour rejoindre les terminaux de fret international. Des mesures de ce type peuvent être appliquées dans des modèles de système régional comme le montrent les disciples de Mera, tels que Sasaki, Kunihisa et Sugiyama (1995), et Kobayashi et Okumura (1997). Ils procèdent à l'estimation des relations entre la production et l'acheminement par les transports dans les régions et appliquent ces estimations à des modèles multirégionaux avec des contraintes de cohérence pour chaque région et pour le système multirégional dans son ensemble. Ce type de modèle est alors utilisé pour prévoir les effets de la modification de l'infrastructure sur un système dans une ou plusieurs régions. Cette démarche concorde clairement avec les modèles dits axés sur l'activité pour les prévisions de transport, et montre que le contexte régional compte.

Une autre manière de rendre compte des composantes physiques d'une infrastructure de transport consiste à calculer son effet sur les distances-temps entre les nœuds dans un réseau de transport. Une qualité améliorée des infrastructures routières et ferroviaires peut réduire ces distances-temps. Cette mesure rendra également compte indirectement de la capacité, une capacité insuffisante entraînant des retards (congestion) et réduisant ainsi la vitesse, ce qui se traduit par une augmentation des distances-temps. Dans la section 4, nous montrerons comment les informations sur la distance-temps des infrastructures de transport peuvent être associées à des informations sur les activités dans les nœuds du réseau d'infrastructures pour déboucher sur une caractérisation constructive des réseaux d'infrastructure. Les informations sur les distances-temps et sur le lieu d'implantation des activités sont combinées en mesures de l'accessibilité.

### **3.3 Incidences de l'infrastructure sur la productivité mesurées à l'aide de composantes physiques**

Des modèles de regroupement dans l'espace ne permettent pas de montrer en quoi et pourquoi les infrastructures de transport peuvent avoir des effets différents sur la productivité dans différentes régions. L'impact d'infrastructures supplémentaires peut être plus faible dans une région déjà riche en infrastructures que dans d'autres régions où les infrastructures sont moins développées. Les effets pourraient également être plus importants qu'ailleurs dans les régions métropolitaines denses. Cependant, nous savons également que lorsqu'une région plus petite obtient des distances-temps plus courtes en direction d'une région plus grande, les revenus peuvent alors augmenter pour la région plus petite. De plus, une telle intégration régionale signifie que le potentiel de marché de la région la plus grande s'accroît, ce qui devrait se traduire par une productivité accrue eu égard aux modèles des économies d'agglomération et de la nouvelle géographie économique (NEG).

Une conclusion importante est que les modèles globaux donnent des informations qui sont intéressantes au niveau macroéconomique, en estimant des effets qui font apparaître les « conséquences attribuées à un lot moyen d'objets d'infrastructure ou à un projet moyen d'investissements en infrastructures ». Le caractère significatif des estimations doit s'appuyer sur la loi des grands nombres. La même conclusion prévaut en ce qui concerne l'utilisation du PIB comme variable dépendante par opposition à l'utilisation de valeurs de sortie spécifiques au secteur.

Les problèmes abordés peuvent être évités de deux manières. Premièrement, lorsque l'infrastructure est recensée sur le plan de ses composantes et non de ses valeurs en capital, les exercices économétriques feront alors apparaître des effets qui concordent avec des effets que l'on trouve dans des évaluations traditionnelles à base d'analyses coûts-avantages. Deuxièmement, les observations transrégionales donnent lieu à suffisamment d'écart pour des résultats plus fiables qui peuvent également faire l'objet d'interprétations plus éclairantes. Une troisième possibilité consiste à utiliser des données de panel.

La méthode suggérée suscite trois grandes questions :

- De quelle manière les composantes de l'infrastructure favorisent-elles les changements dans l'économie, avec la sortie et l'entrée d'activités ?
- La production d'une région s'élèvera-elle ou baissera-elle ? À quel rythme évolue le PRB ?
- Que se passe-t-il au niveau de la productivité d'une région en termes de PRB ou de revenu par tête ?

Le Tableau 3 présente un ensemble de résultats de régression. Ils reposent tous sur des informations transrégionales. De plus, toutes les études – à l'exception de l'étude Merriman – utilisent des informations sur les composantes des infrastructures. De ce fait nous pouvons constater que les incidences de la productivité varient considérablement d'une région à l'autre.

Tableau 3. **Incidences sur la productivité régionale des composantes physiques des infrastructures de transport dans une analyse régionale transversale**

| <b>Chercheur</b>               | <b>Résultats de l'estimation</b>   |
|--------------------------------|--|
| Andersson <i>et al.</i> (1990) | D'importants effets sur la productivité qui varient considérablement d'une région à l'autre  |
| Anderstig (1991)               | Le taux de rendement de l'investissement varie en fonction de la région dans laquelle il est réalisé, ce qui donne lieu à des exemples avec des rendements à la fois élevés et faibles |
| Wigren (1984, 1985)            | Des effets considérables sur la productivité dont l'ampleur varie d'une région à l'autre   |
| Sasaki <i>et al.</i> (1995)    | Des effets considérables sur la productivité qui varient sensiblement d'une région à l'autre   |
| Bergman (1996)                 | Les effets sur la productivité varient fortement entre régions de taille différente. Envisage à la fois les réseaux d'infrastructures intra- et interrégionaux                         |
| Merriman (1990)*               | Effets considérables   |

\* L'étude de Merriman n'utilise pas de mesures physiques des composantes de l'infrastructure

Le Tableau 4 cite des études qui utilisent des données de panel, et définissent pour chaque région une série de dates ou simplement une année de départ ou d'arrivée. Trois des études utilisent des composantes de l'infrastructure comme variables explicatives, et celles-ci peuvent être considérées comme des variantes

des données de panel des études du Tableau 3 Toutes les études du tableau indiquent que les effets sur la productivité et le taux de rendement des investissements varient fortement d'une région à l'autre.

Le Tableau 4 présente des exemples d'estimations qui utilisent (i) des informations de données de panel et (ii) des informations sur les composantes de l'infrastructure. On constate globalement que les valeurs paramétriques de ces estimations ne présentent généralement pas d'anomalies. Associées aux études transrégionales ordinaires, elles produisent des valeurs paramétriques inférieures aux caractéristiques de la fonction de production globale. C'est ce qui nous permet de conclure qu'elles sont plus fiables. Cela signifie-t-il qu'elles peuvent remplacer les méthodes reposant sur l'analyse coûts-avantages ? La conclusion à laquelle nous parviendrons ultérieurement, c'est qu'il s'agit plus de compléments que de substituts.

**Tableau 4.** Incidences sur la productivité régionale de l'infrastructure des transports dans des estimations de données de panel, avec des composantes de l'infrastructure physique dans trois cas

| Chercheur               | Résultats de l'estimation   |
|-------------------------|---|
| Carlino et Voith (1992) | Effets importants sur la productivité (i) de la densité des autoroutes et (ii) du niveau d'agglomération.   |
| Johansson (1993)        | Le taux de rendement d'un investissement varie d'une région à l'autre et peut ainsi atteindre des valeurs élevées comme de faibles valeurs. Effets à la fois des réseaux d'infrastructures intra- et interrégionaux |
| Mera (1973a, 1973b)     | Les effets sur la productivité varient considérablement en fonction de la région où est réalisé l'investissement  |
| Seitz (1995)*           | Le taux de rendement d'un investissement varie d'une région urbaine à l'autre et peut ainsi atteindre des valeurs élevées comme de faibles valeurs  |
| McGuire (1995)          | Effets visibles sur la productivité qui varient d'une région à l'autre  |

## 4. RÉSEAUX ET ACCESSIBILITÉ

### 4.1 Organisation spatiale et accessibilité

Dans la section précédente nous avons constaté que la méthode de la fonction de production (ou la fonction de coût) capture les externalités urbaines et les autres externalités de densité et de coimplantation d'une manière simple et indirecte. Dans le même temps nous avons précisé que la modélisation économique spatiale moderne fait valoir l'importance de ce type d'externalités et les utilise si nécessaire pour expliquer l'existence même des villes et des zones métropolitaines.

La section 2 présente les distances-temps entre des nœuds (zones) comme des éléments importants de l'organisation spatiale d'une région. Dans le présent paragraphe nous prenons ces distances comme point de départ et ajoutons des informations sur les activités que l'on trouve dans chaque nœud pour avoir une vision complète de l'organisation spatiale. Si nous nous reportons à la Graphique 1, nous pouvons constater qu'une *FUR* unipolaire se compose d'une grande ville (ville centrale) avec d'autres villes et zones urbaines limitrophes, la « ville » étant incluse dans la notion de « zone urbaine ». Chaque ville et zone urbaine se

compose de zones, et le système de transports de la région est représenté par les distances-temps entre toutes les zones. En réduisant la dimension de ces matrices de distance-temps, nous pouvons mettre l'accent sur les distances-temps « globales » suivantes :

- (i) *Intra-urbaines* : la distance-temps moyenne entre tous les nœuds dans une ville (zone urbaine), indiquée par  $t_{kk}$  pour la zone urbaine  $k$ .
- (ii) *Intrarégionales* : la distance-temps moyenne entre les zones urbaines  $k$  et  $l$  à l'intérieur de la région  $R$ , indiquée par  $t_{kl}$ , pour  $l \in R(k)$ ,  $R(k)$  correspondant à l'ensemble des zones urbaines qui appartiennent à la même FUR que  $k$ , à l'exception de  $k$  elle-même.
- (iii) *Extrarégionales* : la distance-temps moyenne entre la zone urbaine  $k$  à l'intérieur de la région  $R$  et la zone urbaine  $l$  à l'extérieur de la région  $l$ , indiquée par  $t_{kl}$ , pour  $k \neq l$  et  $l \in E(k)$ ,  $E(k)$  correspondant à l'ensemble des zones urbaines qui n'appartiennent pas à la même FUR que  $k$ .

Ensuite, partons de l'hypothèse que nous pouvons collecter des informations sur le nombre d'emplois dans chaque zone urbaine  $k$ , ce qui est indiqué par  $J_k$ . Nous pouvons alors sélectionner une autre zone urbaine  $s$  et procéder aux calculs suivants pour un ménage résidant dans  $s$  :

$$\text{L'accessibilité aux emplois dans } s \text{ est égale à } T_{ss}^J = \exp\{-\lambda(t_{ss})t_{ss}J_s\} \quad (4.1a)$$

$$\text{L'accessibilité aux emplois dans } R(s) \text{ est égale à } T_{R(s)}^J = \sum_{k \in R(s)} \exp\{-\lambda(t_{sk})t_{sk}J_s\} \quad (4.1b)$$

$$\text{L'accessibilité aux emplois dans } E(s) \text{ est égale à } T_{E(s)}^J = \sum_{k \in R(s)} \exp\{-\lambda(t_{sk})t_{sk}J_s\} \quad (4.1c)$$

Deux propriétés des formules de (4.1) appellent des commentaires. Tout d'abord, le paramètre de sensibilité au temps  $\lambda$  est modélisé en fonction de la distance-temps réelle. Cela tient au fait que les études empiriques réalisées avec des données suédoises laissent fortement supposer que la sensibilité au temps pour les distances courtes, intermédiaire et longues est différente (Johansson, Klaesson et Olsson, 2002, 2003). On constate ensuite que les trois mesures de l'accessibilité sont déterminées uniquement par les distances-temps et la localisation des emplois. On pourrait soutenir que la valeur  $\lambda = \lambda_{sk} = \lambda(t_{sk})$  devrait faire apparaître les coûts généralisés du transport. Comme le montre le paragraphe suivant, une estimation de  $\lambda$  fera apparaître les coûts liés au temps et les autres frais de déplacement avec précision si ces composantes sont toutes deux proportionnelles à la distance-temps.

Maintenant, le message fondamental est que le vecteur  $[T_{ss}^J, T_{R(s)}^J, T_{E(s)}^J]$  nous donne une description de l'organisation spatiale de la région du point de vue d'une zone urbaine (ville)  $s$  dans la région  $R$ . Comme nous le verrons, il s'agit d'une description parmi plusieurs autres de ce type qui seront proposées par la suite. Avant d'aller plus loin, nous illustrerons deux modifications fondamentales de l'organisation spatiale. En guise de premier type de modification, partons de l'hypothèse que le nombre d'emplois dans une zone urbaine  $k$  augmente, passant de  $J_k$  à  $J_k + \Delta J_k$ . L'évolution de l'accessibilité aux emplois qui en résulte sur la liaison  $(s, k)$  est calculée en (4.2a)

$$\Delta T_{sk}^J = \exp\{-\lambda_{sk}t_{sk}\} \Delta J_k \quad (4.2a)$$

Le deuxième type de modification est généré par une modification de la distance-temps  $t_{sk}$ . Supposons que la distance augmente de  $\Delta t_{sk}$ . Cela se traduira par la réduction suivante de l'accessibilité aux emplois sur la liaison  $(s, k)$  :

$$[\exp\{-\lambda_{sk}t_{sk}\}(1 - \exp\{-\lambda_{sk}\Delta t_{sk}\})] J_k \quad (4.2b)$$

Si nous nous reportons à la formule (4.1), nous devrions constater qu'il est possible de passer de la variable de localisation  $J_s$  à une variable indiquant l'offre de main-d'oeuvre des ménages dans  $s$ , indiquée par  $L_s$ , à une variable désignant l'offre de services aux entreprises, indiquée par  $F_s$ , ou à une variable donnant des informations sur l'offre de services domestiques, indiquée par  $H_s$ . L'application de la technique de la formule (4.1) nous permettra de caractériser une zone urbaine  $s$  des manières complémentaires suivantes :

L'accessibilité d'un ménage aux emplois, représentée par le vecteur  $T_s^J = [T_{ss}^J, T_{R(s)}^J, T_{E(s)}^J]$ , et aux services domestiques, donnée par le vecteur

$$T_s^H = [T_{ss}^H, T_{R(s)}^H, T_{E(s)}^H]. \quad (4.3a)$$

L'accessibilité d'une entreprise à l'offre de main-d'oeuvre, représentée par le vecteur  $T_s^J = [T_{ss}^J, T_{R(s)}^J, T_{E(s)}^J]$ , et aux services aux entreprises, donnée par le vecteur

$$T_s^F = [T_{ss}^F, T_{R(s)}^F, T_{E(s)}^F]. \quad (4.3b)$$

Les mesures de l'accessibilité calculées de cette manière témoignent clairement des possibilités d'interaction et de contact des ménages et des entreprises, respectivement. Les références classiques seraient Lakshmanan et Hansen (1965), et Weibull (1976). Si nous introduisons une variable qui peut représenter les budgets des clients dans différents lieux, il est également possible de calculer les possibilités de ventes et de livraison.

La deuxième condition que les mesures de l'accessibilité doivent remplir est la suivante : elles doivent être compatibles ou en harmonie avec des modèles conçus pour prévoir les comportements de déplacement et les flux de transport. Ce point est illustré dans le prochain paragraphe avec les migrations journalières dans le cadre du marché du travail.

## 4.2 Accessibilité aux emplois, choix aléatoire et migrations journalières

Envisageons maintenant un ensemble de zones urbaines (villes et localités) appartenant à la même FUR  $k \in R$ . Pour la zone urbaine  $k$ ,  $L_k$  représente l'offre de main-d'oeuvre potentielle et  $M_k \leq L_k$  est l'offre de main-d'oeuvre réelle à tout moment. Cela signifie qu'il est admis que l'offre correspond à l'ensemble des personnes qui vivent dans le lieu  $k$  et ont un emploi au même endroit ou ailleurs. Pour le même groupe de zones urbaines nous pouvons également identifier le nombre d'emplois disponibles dans chaque municipalité  $k$ , qui est représenté par  $J_k$ . Les migrations journalières entre la zone  $k$  et la zone  $l$  sont représentées par  $m_{kl}$  de telle sorte que

$$\sum_l m_{kl} = M_k, \text{ and } \sum_k m_{kl} = J_l \quad (4.4)$$

Dans la formule (4.4) nous voyons que les migrations journalières intra-urbaines sont représentées par  $m_{kk}$ . En ce qui concerne les zones urbaines dans la même FUR,  $m_{kl}/M_k$  ou  $m_{kl}/J_l$  sont censés être importants. Dans les modèles de transport, les migrations journalières sur la liaison  $(k, l)$  peuvent être expliquées par deux facteurs. Le premier est l'avantage que retire l'individu de  $k$  des migrations journalières vers un certain lieu  $l$ , qui peut être lié à (i) un niveau de salaire plus élevé et (ii) de meilleures possibilités d'emploi dans  $l$ . Le deuxième facteur correspond aux coûts généralisés des migrations journalières sur les liaisons entre communes. Considérons que l'intérêt pour les individus de faire quotidiennement la navette peut être décrit par une fonction d'utilité aléatoire. Pour un individu qui vit dans  $k$ , l'utilité de travailler dans  $l$  peut être exprimée comme suit :

$$U_{kl} = a_l + b(w_l - w_k) - \gamma c_{kl} - \mu_{kl} t_{kl} + \varepsilon_{kl} \quad (4.5)$$

$a_l$  se rapportant à des composantes de  $l$ ,  $(w_l - w_k)$  étant la différence de salaire dans les zones urbaines  $k$  et  $l$  pour les emplois qui correspondent aux qualifications de l'individu,  $c_{kl}$  indiquant les coûts des migrations journalières, tandis que les paramètres  $b$  et  $\gamma$  convertissent les valeurs pécuniaires en une base de préférences communes. De plus,  $t_{kl}$  représente la distance-temps entre  $k$  et  $l$ ,  $\mu_{kl}$  est un paramètre valeur-temps et  $\varepsilon_{kl}$  indique l'incidence aléatoire de facteurs non observés. Cette formulation nous permet de différencier des catégories d'emplois et des types d'offre de main-d'œuvre. De plus, nous pouvons considérer que la sensibilité au temps peut être différente selon les catégories d'emploi.

Supposons maintenant que les individus optimisent leurs fonctions de préférence comme défini en (4.5). Supposons également que les écarts de salaires sont réduits et que les coûts directs des migrations journalières,  $c_{kl}$ , sont à peu près proportionnels aux distances-temps de sorte que  $c_{kl} = \mu_c t_{kl}$ .

Envisageons maintenant que  $a_l$  dans la formule (4.5) représente un facteur d'attraction de la commune  $l$  et que  $\varepsilon_{kl}$  est un résidu distribué suivant les valeurs extrêmes. De plus, considérons que  $V_{kl} = U_{kl} - \varepsilon_{kl}$ . Si le résidu (4.5) est distribué suivant les valeurs extrêmes, nous pouvons en déduire la probabilité de choisir la liaison de migrations journalières  $(k, l)$  suivante :

$$P_{kl} = \exp\{V_{kl}\} / \sum_s \exp\{V_{ks}\} \quad (4.6)$$

Ainsi, la probabilité de choisir une liaison spécifique est décrite par un modèle logit. Ensuite, définissons le facteur d'attraction  $a_l$  comme  $a_l = \ln J_l$ ,  $J_l$  correspondant au nombre d'emplois dans la zone urbaine  $l$ . Le numérateur dans (4.6) représente la valeur de préférence du marché du travail dans la commune, et le dénominateur est la somme de ces valeurs. D'où le fait que la probabilité de migrations journalières sur la liaison  $(k, l)$  est la valeur de préférence normalisée. De cette manière on peut considérer  $P_{kl}$  comme un rapport entre l'utilité potentielle sur la liaison  $(k, l)$  et la somme des valeurs de cette utilité, donnée par  $\sum_s \exp\{V_{ks}\}$ .

Partons maintenant de l'hypothèse selon laquelle  $c_{kl} = \mu_c t_{kl}$  et  $(w_k - w_l) = 0$ , qui donne

$$T_{ks}^J = \exp\{-\gamma \mu_c t_{ks} - \mu_{kl} t_{kl}\} A_s = \exp\{-\lambda_{kl} t_{kl}\} A_s, \text{ pour } \lambda_{kl} = \gamma \mu_c + \mu_{kl} \quad (4.7)$$

qui est la mesure standard de l'accessibilité aux emplois sur une liaison  $(k, l)$  présentée dans le paragraphe précédent. Elle offre une mesure exacte uniquement si l'hypothèse de salaires égaux se vérifie. Constatons également que le nouveau paramètre de sensibilité au temps  $\lambda_{kl} = (\gamma \mu_c + \mu_{kl})$ .

Étant donné les exercices ci-dessus, en quoi les mesures de l'accessibilité sont-elles liées aux prévisions des flux de transport (de migrants journaliers) ? Pour savoir, analysons l'expression dans (4.6). À partir de là nous pouvons prévoir le nombre de trajets de migrants journaliers entre  $k$  et  $l$  sous la forme  $m_{kl} = M_k \exp\{V_{kl}\} / \sum_s \exp\{V_{ks}\}$ , avec  $\exp\{V_{kl}\} = T_{kl}^J$ , le dénominateur étant un facteur de normalisation, qui correspond à la somme de toutes les accessibilités à la liaison en provenance de la zone urbaine  $k$ . De plus, il est également possible d'inclure d'autres facteurs d'attrait dans la définition de  $V_{ks}$ , ce qui peut permettre de distinguer les flux intraurbains, intrarégionaux et extrarégionaux comme le montrent Johansson, Klaesson et Olsson (2003). Cette méthode offre les résultats empiriques de modélisations qui révèlent que le paramètre (variable) de sensibilité au temps  $\lambda_{kl} = \lambda(t_{kl})$  est une fonction non linéaire de  $t_{kl}$ , représentée par trois valeurs différentes telles que  $\lambda_{kk} = \lambda_0$ ,  $\lambda_{ks} = \lambda_1$  pour  $s \in R(s)$  et  $\lambda_{ks} = \lambda_2$  pour  $s \in E(s)$ , comme le présente le Tableau 5.

Tableau 5 Réponse non linéaire des migrants journaliers à la distance-temps

|  | Migrations journalières intra-urbaines                    | Migrations journalières interrégionales                     | Migrations journalières extrarégionales |
|--|---|---|---|
| Distance-temps $t_{kl}$                  | 0-15 minutes  | 15-50 minutes   | Plus de 60 minutes                      |
| Sensibilité au temps $\lambda_{kl}$      | $\lambda_0$ est très bas                                  | $\lambda_1 \approx 3.8\lambda_0$                            | $\lambda_2 \approx 2.1\lambda_0$        |
| Préférence de destination supplémentaire | Forte préférence pour les migrations journalières locales | Préférence moyenne pour les migrations journalières locales | Pas de préférence                       |

Source : Johansson, Klaesson et Olsson (2003).

Les propriétés présentées dans le Tableau 5 font référence à des facteurs qui peuvent être inclus dans une mesure de l'accessibilité, et viennent donc compléter la possibilité de représenter l'organisation spatiale d'une FUR.

### 4.3 Différentes manières d'utiliser les mesures de l'accessibilité

L'exposé précédent s'efforce de montrer en quoi l'organisation spatiale d'une région peut être révélée à l'aide de mesures de l'accessibilité. Son objectif est de préciser comment ces mesures évoluent (i) à mesure que les entreprises (emplois) et les ménages (offre de main-d'œuvre) migrent en direction où au départ de zones urbaines dans une région, et (ii) à mesure que les distances-temps se modifient à l'intérieur de chaque zone urbaine et entre différentes zones. Cependant, il nous reste à voir comment les mesures de l'accessibilité peuvent être utilisées dans l'évaluation des politiques d'infrastructures de transport.

Tout d'abord, considérons l'ensemble de mesures de l'accessibilité présentées dans le Tableau 6. Le tableau présente un aperçu des autres mesures et processus possibles et des conséquences associées à chaque mesure.

Avec des informations du type de celles qui sont illustrées dans le Tableau 6, il est possible d'envisager au moins quatre domaines dans lesquels des mesures de l'accessibilité peuvent être appliquées. Ces domaines seront intitulés comme suit :

- *Prévision des flux.* L'accessibilité aux services domestiques pourrait par exemple être utilisée pour prévoir les déplacements liés aux achats mais aussi des flux de migration. La section 5 fournit des résultats empiriques relatifs aux trajets quotidiens maison-travail. De toute évidence, de telles prévisions devraient constituer une sous-tâche importante dans les calculs à base d'analyses coûts-avantages.
- *Prévision des structures de localisation.* L'accessibilité à l'offre de main-d'œuvre peut être utilisée pour prévoir l'évolution du nombre d'emplois dans différentes zones d'une FUR, et partant dans la FUR toute entière. De la même manière, il est possible de prévoir le volume de l'offre de main-d'œuvre. On constate que l'augmentation des emplois et de l'offre de main-d'œuvre dans une région peut avoir des effets d'agglomération supplémentaires, avec des incidences sur le plan de la productivité. De plus, l'évolution de la localisation des emplois peut en effet intervenir pour des groupes spécifiques de secteurs.
- *Prévision de l'évolution économique.* Avec des démarches semblables à celles utilisées pour la prévision des processus de localisation, il est possible de prévoir l'augmentation et la baisse de l'emploi et de la production (à valeur ajoutée) dans une FUR. De telles prévisions peuvent également mettre l'accent sur des groupes de secteurs tels que les services privés, les services aux entreprises, etc.
- *Prévision reposant sur les élasticités de la production.* Dans ce cas des mesures de l'accessibilité spécifiques à la FUR sont utilisées comme indicateurs des services fournis par les infrastructures de transport. Cette possibilité serait adaptée, par exemple, à une version transrégionale de la fonction de coût et à des analyses de productivité totale des facteurs de Nadiri et Manueas (1996).

Tableau 6. Aperçu des mesures optionnelles de l'accessibilité

| Types d'Accessibilité  | Processus et Conséquences Associés   |
|--|--|
| <i>Accessibilité Des Ménages</i>   |  |
| aux emplois  | Sur le plan des forces en jeu, les ménages ont tendance à s'installer dans des lieux où l'accessibilité aux emplois est élevée. Sur le plan de l'efficacité, une accessibilité élevée implique une meilleure adéquation entre le marché et la main-d'oeuvre. |
| aux services domestiques   | Les ménages ont tendance à s'installer dans les localités et les villes où l'accessibilité aux services, ainsi que la diversité des services, est élevée   |
| à la masse salariale dans des entreprises situées dans différentes zones | Les ménages ont tendance à s'installer dans les localités et les villes où l'accessibilité aux activités économiques est élevée, ce qui peut témoigner de la diversité des emplois, de salaires supérieurs à la moyenne et de la productivité.               |
| <i>Accessibilité Des Entreprises</i>                                     |  |
| à l'offre de main-d'oeuvre   | Sur le plan des forces en jeu, les entreprises sont attirées par les lieux où l'accessibilité à la main-d'oeuvre est élevée. Sur le plan de l'efficacité, une accessibilité élevée implique une meilleure adéquation entre le marché et la main-d'oeuvre.    |
| à une offre de main-d'oeuvre à forte intensité de qualifications         | Les secteurs économiques en expansion sont axés sur les services avancés à forte intensité de qualifications. L'accessibilité à une offre de main-d'oeuvre correspondante attire les entreprises appartenant aux secteurs de croissance.                     |
| à la masse salariale des ménages résidant dans différentes zones         | Témoigne de l'ampleur de la demande du marché en entreprises prestataires de services domestiques ; avec un marché local en expansion, il est possible d'exploiter des économies d'échelle et la diversité peut s'accroître.                                 |
| à la masse salariale dans des entreprises situées dans différentes zones | Témoigne de l'ampleur de la demande du marché en entreprises prestataires de services aux entreprises ; avec un marché local en expansion, il est possible d'exploiter des économies d'échelle et la diversité peut s'accroître.                             |

L'idée fondamentale qui sous-tend les quatre suggestions ci-dessus est que les mesures de l'accessibilité sont supposées rendre compte des services potentiels que les réseaux d'infrastructures de transport internes et externes ont les moyens d'offrir. S'ils offrent de tels services, comme le prétend le présent exposé, il devrait alors être possible d'estimer les relations pour les caractéristiques de niveau comme de coût, sur la base de caractéristiques transrégionales et de données de panel, respectivement. De plus, les mesures de l'accessibilité devraient apparaître comme des intrants importants dans les formulations de fonctions de production. Cette dernière possibilité peut aussi prendre la forme de formulations de fonctions de coût telles que celles employées par Nadiri et Mamuneas (1996).

Envisageons dans un premier temps la quatrième option, à savoir l'estimation de l'élasticité de la production. Cela peut prendre la forme de l'estimation de fonctions de production à l'aide d'informations transrégionales, les FUR constituant les unités d'observation. Étant donné que la taille de certaines FUR est limitée, cela suppose également une définition sectorielle restrictive. Cela signifie aussi que les mesures de l'accessibilité doivent être calculées sous forme de moyennes pour chaque FUR, indiquée par *R*, qui pourrait alors être représentée par les trois composantes suivantes :

$$\begin{aligned}
 T_R^I &= \sum_{s \in R} g_s T_{ss}, \quad \sum_{s \in R} g_s = 1 \\
 T_R^{II} &= \sum_{s \in R} h_s T_{R(s)}, \quad \sum_{s \in R} h_s = 1 \\
 T_R^{III} &= \sum_{s \in R} q_s T_{E(s)}, \quad \sum_{s \in R} q_s = 1
 \end{aligned}
 \tag{4.8}$$

$g_s$ ,  $h_s$  et  $q_s$  étant des facteurs de pondération. Les variables  $T$  dans (4.8) sont les observations distinctes d'un système de transport régional ; chaque valeur  $T$  pourrait représenter l'accessibilité locale, régionale et extrarégionale au PRB (produit régional brut ou masse salariale) de chaque FUR. D'autres possibilités sont l'accessibilité aux capacités portuaires (Johansson, 1993), aux capacités aéroportuaires (Andersson, Anderstig et Hårsman, 1990) ou aux ressources en connaissances (Andersson et Karlsson, 2005).

Pour prévoir les structures de localisation, on pourrait envisager des estimations transversales générant des informations sur la structure de localisation et la structure de l'accessibilité en termes de niveaux. Cependant, il peut être plus productif d'envisager des estimations de processus de changement, de façon, par exemple, à procéder à une régression de l'emploi dans les zones urbaines sur l'évolution de l'accessibilité pour chaque zone urbaine l'année de départ. Cette démarche se rapproche de ce qu'il est convenu d'appeler le modèle de Carlino-Mills (Mills et Carlino, 1989).

Ce document soutient que l'organisation spatiale d'une FUR peut être décrite à l'aide d'un vecteur  $T_R = [T_R^I, T_R^{II}, T_R^{III}]$ , et par les vecteurs  $[T_{ss}, T_{R(s)}, T_{E(s)}^I]$  pour chaque zone urbaine  $s$ . Existe-t-il d'autres aspects structurels qui ajoutent des informations importantes sur l'organisation spatiale ? Les résultats empiriques de la section 5 indiquent de manière convaincante que l'on pourra obtenir des renseignements supplémentaires en incorporant la conjecture de Christaller relative à une structure hiérarchique, connue sous le nom de théorie des places centrales. Compte tenu de cela, l'organisation suivante des zones urbaines est suggérée, avec trois groupes de zones urbaines, appelées C1, C2 et C3 :

C1 = la ville centrale et la plus grande dans chaque région

C2 = d'autres zones urbaines dans de grandes FUR (plus de 100 000 habitants) (4.9)

C3 = d'autres zones urbaines dans de petites FUR (moins de 100 000 habitants)

Il est possible d'utiliser la théorie des places centrales en procédant à l'estimation des paramètres du modèle dans une équation de régression (ou système d'équation) distincte pour chaque catégorie de zones urbaines, tout en continuant d'utiliser des mesures de l'accessibilité à tous les types de zones urbaines.

Supposons maintenant que l'on prévoit l'évolution de l'emploi pour chaque zone urbaine dans une FUR. On présume alors que l'effet total pour la FUR est la somme des changements intervenus dans chaque zone individuelle. Supposons maintenant que le nombre total d'emplois a augmenté. Cette augmentation constitue-t-elle un apport à l'économie dans son ensemble, dans différentes FUR ? Il est estimé ici qu'il s'agit d'un apport, conformément à des modèles d'économies d'agglomération. Ainsi, le nombre d'emplois n'est pas régi par des restrictions de jeux à somme nulle.

Des constatations empiriques viennent étayer la conclusion ci-dessus. Tout d'abord, lorsque l'on utilise une mesure de l'accessibilité pour expliquer (ou prévoir) la croissance dans les FUR, on peut observer que toutes les FUR n'affichent pas une croissance positive. Ensuite, des constatations empiriques réalisées au cours des vingt dernières années en Suède nous révèlent ceci :

- La productivité de la main-d'œuvre telle qu'elle est représentée par le niveau des salaires affiche une corrélation positive avec l'accessibilité d'une zone urbaine aux emplois, à l'offre de main-d'œuvre et à la masse salariale.
- Le taux de participation au marché du travail affiche une corrélation positive avec l'accessibilité d'une zone urbaine aux emplois, à l'offre de main-d'œuvre et à la masse salariale.

Ces deux constatations appuient l'hypothèse selon laquelle les propriétés d'accessibilité ont des effets sur le plan de la productivité.

## 5. RÉSULTATS EMPIRIQUES D'ÉTUDES REPOSANT SUR L'ACCESSIBILITÉ

### 5.1 Les migrations journalières et l'organisation spatiale d'une FUR

Les migrations journalières peuvent être considérées comme une retombée de l'organisation spatiale d'une FUR. Elles rendent compte des forces qui s'emploient à équilibrer l'offre et la demande de main-d'œuvre. Cette vision du marché du travail fait qu'il est naturel de relier les migrations journalières à des localisations séparées sur le plan spatial où l'offre dans un lieu répond à la demande dans un autre. Dans ce contexte, l'objectif du présent paragraphe est d'illustrer avec quel succès les mesures de l'accessibilité au marché du travail peuvent représenter l'organisation spatiale et les flux de migrants journaliers correspondants. Deux équations dont la structure est la suivante permettent de le faire (Johansson, Klaesson et Olsson, 2002) :

- Les migrations journalières vers une zone urbaine sont soumises à l'influence positive (i) de l'accessibilité intra-urbaine aux emplois, et de (ii) l'accessibilité de la zone à l'offre de main-d'œuvre dans les zones urbaines voisines (environnantes).
- Les migrations journalières au départ d'une zone urbaine sont soumises à l'influence positive (i) de l'accessibilité intra-urbaine aux résidents de la zone qui ont un emploi quelque part, et de (ii) l'accessibilité de la zone aux emplois dans les zones urbaines voisines.

Conformément à la structure ci-dessus nous utilisons deux mesures de l'accessibilité pour les migrations journalières entrantes dans la zone  $k$ , représentées par  $I_k$ . La première mesure est celle de l'accessibilité aux emplois dans  $k$ ,  $T_{kk}^J$ , et la deuxième est  $T_{RE}^L = T_{R(k)}^L + T_{E(k)}^L$ , qui résume l'accessibilité totale à l'offre de main-d'œuvre à l'extérieur de la zone urbaine. Cela débouche sur l'équation de régression suivante :

$$I_k = \alpha + \beta T_{kk}^J + \gamma T_{RE}^L + \varepsilon_k \quad (5.1)$$

Les résultats des régressions pour 1990 et 1998 sont présentés dans le Tableau 7. Tous les coefficients obliques sont positifs et très significatifs. Nous constatons en particulier que l'essentiel des écarts sont traduits par l'équation à deux variables.

Nous pouvons constater que l'équation (5.1) donne une mesure de chaque flux interurbain, parce que  $\gamma T_{RE}^L$  est la somme des éléments spécifiques à la liaison tels que  $\exp\{-\lambda_{kl} t_{kl}\} L_k$ .

L'équation de régression pour les migrants journaliers sortants est décrite en (5.2). Les deux variables explicatives sont  $T_{kk}^L$  et  $T_{RE}^J$ , qui représentent l'accessibilité intra-urbaine aux résidents dans la zone qui ont un emploi quelque part et l'accessibilité de la zone aux emplois dans les zones urbaines voisines, respectivement. La variable dépendante,  $O_k$ , représente le total des migrations journalières au départ de la zone urbaine  $k$ .

$$O_k = \alpha + \beta T_{kk}^L + \gamma T_{RE}^J \quad (5.2)$$

$O_k$  représentant les migrations journalières sortant de la commune  $k$ ,  $T_{kk}^L$  l'accessibilité interne à l'offre de main-d'œuvre existante, et  $T_{RE}^J$  l'accessibilité externe aux emplois se situant à l'extérieur de la zone urbaine  $k$ . Les résultats de l'équation d'estimation (5.2) pour 1990 et 1998 sont présentés dans le Tableau 8. Tous les coefficients obliques sont positifs et très significatifs, et une grande partie des écarts s'explique par les deux variables indépendantes de l'accessibilité.

Si on les regroupe, les Tableaux 7 et 8 montrent qu'il existe une forte correspondance entre l'organisation spatiale d'une FUR et les flux de transport des migrants journaliers. On peut également faire observer que les distances-temps utilisées dans les régressions de (5.1) et (5.2) concernent les migrations journalières en voiture, le mode de transport de très loin le plus utilisé dans toutes les FUR à l'exception de la région de Stockholm, où les migrations journalières en automobile continuent de dominer, mais où une part considérable de navettes sont cependant réalisées avec les transports publics.

**Tableau 7. Migrations journalières en direction des communes, 1990 et 1998**

|   | 1990           | 1998           |
|---|----------------|----------------|
| Ordonnée à l'origine, $\alpha$                                      | -3374.2 (-6.3) | -2780.6 (-6.3) |
| Accessibilité interne aux emplois, $\beta$                          | 0.37 (41.6)    | 0.39 (49.1)    |
| Accessibilité externe à l'offre de main-d'œuvre existante, $\gamma$ | 0.05 (5.4)     | 0.06 (6.5)     |
| $R^2$ corrigé   | 0.94           | 0.95           |

*Remarque* : les valeurs t sont indiquées entre parenthèses. Le nombre d'observations est de 288.

**Tableau 8. Migrations journalières au départ des communes, 1990 et 1998**

|  | 1990          | 1998          |
|--|---------------|---------------|
| Ordonnée à l'origine, $\alpha$                                     | -291.1 (-6.3) | -237.9 (-0.9) |
| Accessibilité externe à l'offre de main-d'œuvre existante, $\beta$ | 0.15 (41.6)   | 0.18 (28.2)   |
| Accessibilité externe aux emplois, $\gamma$                        | 0.07 (15.0)   | 0.07 (16.0)   |
| $R^2$ corrigé  | 0.93          | 0.95          |

*Remarque* : les valeurs t sont indiquées entre parenthèses. Le nombre d'observations est de 288.

## 5.2 Développement sectoriel dans les villes et les régions

L'économie d'agglomération comporte des modèles axés sur des activités qui peuvent être regroupées dans l'espace afin de favoriser les interactions sensibles à la distance. Comme le présentent Fujita et Thisse (2002), ces types d'interactions incluent l'échange d'informations et de connaissances entre entreprises, et des contacts sensibles à la distance entre fournisseurs et clients. Dans un contexte dynamique, les économies

d'échelle peuvent aussi être reliées aux effets dits du marché local dans des modèles dits de la nouvelle géographie économique.

Le présent paragraphe présente des modèles qui rendent compte d'économies d'agglomération avec l'accessibilité de chaque zone urbaine à la masse salariale dans la zone elle-même et dans d'autres parties de la FUR à laquelle la zone appartient. La masse salariale correspond à une grande part de la valeur ajoutée totale de chaque ville et localité.

Pour chaque zone urbaine  $s$ , l'accessibilité à la masse salariale est exprimée par un vecteur  $T_s^W = [T_{ss}^W, T_{R(s)}^W]$ , qui se compose uniquement de l'accessibilité intra-urbaine et intrarégionale. La raison pour laquelle l'accessibilité extrarégionale est exclue est qu'elle a une influence statistiquement insignifiante et minimale sur les processus de changement examinés ici. La méthode la plus directe consiste à formuler une équation de croissance simple pour les emplois, l'offre de services domestiques, et l'offre de services aux entreprises tel que décrit en (5.3). Les deux variables de prestation de services sont représentées par le nombre d'emplois dans les industries correspondantes. Ceci étant dit, on peut constater que l'augmentation de l'emploi au cours des années 90 (et après) correspond avant tout à une augmentation des emplois dans les services privés.

$$\begin{aligned}\Delta J_s &= \alpha_0 + \alpha_1 T_{ss}^W + \alpha_2 T_{R(s)}^W + \varepsilon_s \\ \Delta H_s &= \alpha_0 + \alpha_1 T_{ss}^W + \alpha_2 T_{R(s)}^W + \varepsilon_s \\ \Delta F_s &= \alpha_0 + \alpha_1 T_{ss}^W + \alpha_2 T_{R(s)}^W + \varepsilon_s\end{aligned}\tag{5.3}$$

la première équation se rapportant à l'évolution de l'ensemble des emplois, la deuxième à l'évolution des personnes employées dans les industries des services domestiques, et la troisième à l'évolution des personnes employées dans les industries des services aux entreprises.

Le Tableau 9 présente les résultats de la ville centrale (la plus grande) dans chaque FUR. Les régressions analogues réalisées pour les villes et localités non centrales indiquent le même type d'évolution mais avec des valeurs  $R^2$  quelque peu inférieures pour les zones C2, et bien inférieures pour les zones C3. Pour ce dernier groupe, les résultats de la régression signifient la prévision de l'équation estimée est peu fiable. En substance, cela montre que l'offre de services en Suède se concentre dans la ville centrale de chaque FUR, ce qui signifie donc également que l'augmentation globale des emplois est fortement liée aux villes centrales, parce que la croissance globale est déterminée par la croissance du secteur des services. Pour les trois FUR métropolitaines, cette constatation est moins marquée, ce qui signifie que la croissance métropolitaine est répartie entre la zone C1 et les zones C2.

**Tableau 9. Croissance de 1993 à 2000 dans les villes centrales induite par l'accessibilité à la masse salariale**

| Processus D'évolution  | $\alpha_0$     | $\alpha_1$     | $\alpha_3$    | $R^2$ |
|--|----------------|----------------|---------------|-------|
| $\Delta J_s$ Augmentation des emplois                            | -684<br>(-4.4) | 0.58<br>(8.7)  | 0.75<br>(2.1) | 0.97  |
| $\Delta H_s$ Augmentation de l'offre de services domestiques     | -425<br>(-3.4) | 0.42<br>(7.8)  | 0.64<br>(2.2) | 0.97  |
| $\Delta F_s$ Augmentation de l'offre de services aux entreprises | -939<br>(4.3)  | 0.95<br>(10.2) | 1.31<br>(2.7) | 0.98  |

Il faudrait souligner que dans les modèles de (5.3), les mesures de l'accessibilité sont données pour l'année de départ, et que la croissance est le résultat d'une organisation spatiale donnée pendant l'année de départ. Cela signifie que les qualités d'évolution inhérentes de différentes FUR peuvent être comparées et évaluées. Comment procède-t-on alors à l'évaluation des investissements en infrastructures et des autres changements planifiés ? Pour ce faire, la stratégie est simple. Tout d'abord, on calcule la trajectoire de croissance (processus d'évolution) avec la forme d'accessibilité donnée. Ensuite, on calcule la trajectoire de croissance associée à une nouvelle forme d'accessibilité. Les répercussions des évolutions d'infrastructure correspondent alors aux différences entre la première et la deuxième trajectoire de croissance.

### 5.3 Croissance des FUR et interdépendances dans l'organisation spatiale

Le présent paragraphe et le suivant mettent l'accent sur le marché du travail, en se référant à un modèle présenté dans Johansson et Klaesson (2007). Ce modèle part du principe (i) que l'offre de main-d'oeuvre (ménages) est attirée vers une zone urbaine en réponse à l'accessibilité de la zone aux emplois, et (ii) que les emplois (entreprises) sont attirés dans une zone urbaine en réponse à l'accessibilité de la zone à l'offre de main-d'oeuvre. De tels processus de changement opèrent également lorsque les propriétés de l'infrastructure demeurent inchangées, mais changeront à mesure que les conditions d'accessibilité se modifieront. Il conviendrait de souligner que les deux processus de changement introduits constituent une « dynamique couplée », et que dans un premier temps il convient de clarifier cette dynamique.

Les forces en jeu dans le marché du travail seront définies pour chaque zone urbaine,  $m$ . L'offre de main-d'oeuvre est représentée par le vecteur d'accessibilité  $[T_{mm}^L, T_{R(m)}^L, T_{E(m)}^L]$  tel que défini en (4.3), et intitulée accessibilité de la zone urbaine  $m$  à l'offre de main-d'oeuvre. La demande de main-d'oeuvre est représentée par le vecteur de l'accessibilité  $[T_{mm}^J, T_{R(m)}^J, T_{E(m)}^J]$  tel que défini en (4.3), et intitulée accessibilité de la zone urbaine  $m$  aux emplois. Les deux vecteurs sont reliés de façon dynamique à travers les deux équations en (5.4a) et (5.4b), définies comme suit pour chacun des trois groupes de communes, C1, C2 et C3 présentés plus tôt en (4.9).

$$\Delta J_m = f(T_{mm}^L, T_{R(m)}^L, T_{E(m)}^L) \quad (5.4a)$$

$$\Delta A_m = f(T_{mm}^J, T_{R(m)}^J, T_{E(m)}^J) \quad (5.4b)$$

Envisageons d'abord la variable  $\Delta J_m$  dans l'équation (5.4a) ci-dessus, qui montre comment le nombre d'emplois dans la zone urbaine  $m$  est supposé passer du temps  $t = 0$  au temps  $t = \tau$ . Ensuite, supposons que  $J_m$  représente le nombre d'emplois à la date  $t = 0$ . Nous pouvons alors définir  $J_m^* = J_m + \Delta J_m$ . Une fois que la valeur  $J_m^*$  a été donnée, elle déterminera les valeurs de tous les vecteurs  $[T_{kk}^J, T_{R(k)}^J, T_{E(k)}^J]$ . Ces nouvelles valeurs futures (au temps  $\tau$ ) sont représentées par  $[T_{kk}^{J*}, T_{R(k)}^{J*}, T_{E(k)}^{J*}]$  pour chaque  $k$ . Cela montre que nous pourrions considérer ce dernier vecteur comme un facteur d'attraction expliquant l'évolution de l'offre de main-d'oeuvre dans une commune  $k$  entre le temps  $t = 0$  et le temps  $t = \tau$ , décrit par  $\Delta L_k$ .

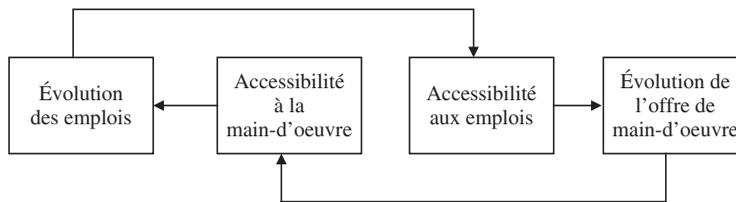
À ce stade, nous admettons qu'il est possible d'introduire  $L_k$  pour représenter l'offre de main-d'oeuvre au temps  $t = 0$  et de définir  $L_k^* = L_k + \Delta L_k$  pour la zone urbaine  $k$ . La valeur  $L_k^*$  pèse en principe sur toutes les valeurs  $T^L$  pour chaque zone urbaine  $m$  au temps  $\tau$ , représenté par  $[T_{mm}^{L*}, T_{R(m)}^{L*}, T_{E(m)}^{L*}]$  pour chaque  $m$ .

Comme décrit ci-dessus, les deux équations (5.5a) et (5.5b) sont maintenant regroupées, de sorte que nous pouvons écrire l'équation (5.5a) signifiant que l'évolution des emplois dans la zone urbaine  $m$  est orientée par les valeurs  $T^L$  pour la même commune au temps  $t = \tau$ , c'est-à-dire les valeurs  $T^L$  qui sont une conséquence du processus d'évolution pendant l'intervalle de temps (0,  $\tau$ ). De la même manière l'équation (5.5b) montre en quoi les futures valeurs  $T^J$  pour la zone urbaine  $m$  déterminent la modification de l'offre de main-d'oeuvre,  $\Delta L_m^*$ , pendant l'intervalle de temps (0,  $\tau$ ). Les processus de changement regroupés en (5.5a) et (5.5b) sont illustrés dans la Graphique 3.

$$\Delta J_m^* = f(T_{mm}^{L*}, T_{R(m)}^{L*}, T_{E(m)}^{L*}) \tag{5.5a}$$

$$\Delta L_m^* = f(T_{mm}^{J*}, T_{R(m)}^{J*}, T_{E(m)}^{J*}) \tag{5.5b}$$

Graphique 3. **Évolution simultanée de l'offre de main-d'œuvre et des emplois**



L'interprétation du système d'équation en (5.5) est que l'évolution progressive de  $[T_{mm}^L, T_{R(m)}^L, T_{E(m)}^L]$  à  $[T_{mm}^{L*}, T_{R(m)}^{L*}, T_{E(m)}^{L*}]$  est conforme à l'évolution progressive simultanée de l'offre de main-d'œuvre vers  $L_1^*, \dots, L_N^*$  dans un ensemble de zones urbaines  $N$ . De plus, l'évolution progressive vers  $[T_{kk}^{J*}, T_{R(k)}^{J*}, T_{E(k)}^{J*}]$  est conforme à l'évolution progressive des emplois vers  $J_1^*, \dots, J_N^*$ . Pour les deux processus en (5.5), les distances-temps dans le réseau de transport sont supposées être invariantes et données au temps  $t = 0$ .

D'un point de vue économétrique, les processus de changement regroupés sont représentés par les deux équations en (5.6). Les deux équations sont déterminées dans le cadre d'une procédure d'estimation simultanée, dans laquelle les valeurs d'accessibilité future implicites prédisent le nombre futur d'emplois et le volume futur de l'offre de main-d'œuvre :

$$\Delta J_m^* = \alpha_0 + \alpha_1 T_{mm}^{J*} + \alpha_2 T_{R(m)}^{J*} + \alpha_3 T_{E(m)}^{J*} + \varepsilon_m \tag{5.6a}$$

$$\Delta L_m^* = \beta_0 + \beta_1 T_{mm}^{L*} + \beta_2 T_{R(m)}^{L*} + \beta_3 T_{E(m)}^{L*} + \varepsilon_m \tag{5.6b}$$

Lorsque l'on procède à la régression du système simultané en (5.6), les variables du côté droit des deux équations peuvent avoir des valeurs paramétriques positives ou négatives. Un paramètre positif signifie que la variable associée est un facteur d'attraction positif dans les processus d'évolution implicite. Une valeur négative correspond à un « facteur d'attraction négatif », c'est-à-dire à une force de répulsion. Avant de présenter les résultats de l'estimation, nous examinons cette question au regard de la théorie des places centrales.

Christaller (1933) et Lösch (1940) ont analysé l'organisation d'un système multirégional. Leurs contributions sont connues sous le nom de système de places centrales, un système que Beckmann (1958),

Bos (1965) et Tinbergen (1967) ont développé plus avant. Dans ces modèles, la géographie est considérée comme étant bien structurée lorsqu'elle est organisée de façon hiérarchique, de sorte qu'une grande ville est entourée de petites villes/implantations. Ainsi, les villes plus grandes sont séparées les unes des autres.

En appliquant le modèle des systèmes de places centrales au système des villes suédoises, nous admettons qu'une région fonctionnelle se compose normalement d'une ville centrale qui est intégrée dans un ensemble de localités plus petites. De plus, les régions elles-mêmes peuvent être groupées en (i) 58 petites régions comptant moins de 100 000 habitants, et (ii) 23 grandes régions urbaines dont trois peuvent être classées comme métropolitaines. Ces régions et les zones urbaines qui les constituent ne sont pas toujours organisées suivant une structure parfaite de système de places centrales. Au lieu de cela, dans certains cas il arrive que la ville centrale (C1) d'une région se situe à proximité de la ville centrale d'une autre région, ce qui fait que la concurrence entre les deux régions pour la même main-d'œuvre sera forte. On suppose que cela se manifeste sous la forme d'un effet négatif de l'accessibilité extrarégionale pour les villes centrales.

En ce qui concerne les zones urbaines non centrales, la situation peut être différente. Dans de nombreux cas, une zone C2 ainsi qu'une zone C3 affichent de faibles distances-temps en direction des zones urbaines d'autres régions. Dans des cas tels que celui-ci la zone urbaine individuelle a un avantage en termes d'accessibilité à la fois de sa propre région et d'une « région externe ». Ces considérations motivent la décomposition des zones urbaines en catégorie C1, C2 et C3.

#### 5.4 Estimation de croissance avec un système d'équation simultanée

Étant donné les considérations ci-dessus, nous sommes prêts à examiner les résultats de régression. Tout d'abord, les résultats associés à l'équation (5.5a) sont indiqués dans le Tableau 7. Le tableau présente une régression dans laquelle la variable dépendante est l'évolution de l'offre de main-d'œuvre dans une série de cinq périodes consécutives de 8 années, la période 1990-1998 constituant la première et la période 1994-2002 la dernière. Chaque période est identifiée par une durée fictive.

En utilisant une série de périodes de 8 années, le nombre d'observations augmente, et le poids de fluctuations à court terme est atténué lorsque la régression se rapporte à des observations pendant un cycle économique complet. Ce dernier aspect sera probablement plus important pour l'évolution des emplois que pour l'évolution de l'offre de main-d'œuvre. Le nombre total d'emplois varie avec le cycle économique, tandis que l'offre de main-d'œuvre représente le nombre de personnes se situant dans la tranche d'âge 20-64 ans, et ce nombre est moins touché par des fluctuations à court terme.

Prenons la première équation (1) dans laquelle toutes les zones urbaines sont traitées comme un seul groupe. Dans ce cas  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont positifs et affichent des valeurs élevées. Le paramètre extrarégional  $\alpha_3$  n'est pas très éloigné de zéro. Ainsi, globalement il n'y a pas d'effets extrarégionaux. Si l'on s'intéresse aux zones C1, c'est-à-dire aux villes centrales dans l'équation (2), les paramètres  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont positifs et significatifs, tandis que  $\alpha_3$  est négatif et significatif. Ce résultat est compatible avec l'idée de concurrence entre les villes centrales.

L'équation (3) montre que la structure des communes C2 est analogue à celle des communes centrales, même si les valeurs paramétriques sont inférieures, et que  $\alpha_3$  est positive et significative. Ainsi, les communes C2 bénéficient des effets positifs de l'accessibilité régionale accrue, ce qui cadre avec nos observations antérieures relatives aux structures de type Christaller. Enfin, l'équation (4) nous dit que les zones C3 sont touchées avant tout par l'accessibilité intrarégionale, et par une ordonnée à l'origine négative, laquelle est assez grande pour ces zones plus petites et périphériques.

Les résultats du Tableau 7 nous permettent de conclure de manière générale que les coefficients sont supérieurs dans l'équation (2) que dans les équations (3) et (4), ce qui indique que l'accessibilité aux emplois

Tableau 10. **Évolution de l'offre de main-d'œuvre en réponse à l'accessibilité aux emplois. Paramètres de régression reposant sur l'équation (5.5a)**

| Type de commune | $\alpha_0$     | $\alpha_1$    | $\alpha_2$      | $\alpha_3$      | R <sup>2</sup> |
|-----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Tous (1)        | <b>-948.7</b>  | <b>0.1307</b> | <b>0.002099</b> | -0.00145        | 0.91           |
|                 | (-11.15)       | (116.87)      | (7.02)          | (-0.46)         |                |
| C1 (2)          | <b>-1170.7</b> | <b>0.1338</b> | <b>0.009504</b> | <b>-0.04311</b> | 0.95           |
|                 | (-5.79)        | (64.48)       | (3.08)          | (-4.97)         |                |
| C2 (3)          | <b>-662.9</b>  | <b>0.0507</b> | <b>0.0039</b>   | <b>0.01958</b>  | 0.42           |
|                 | (-6.16)        | (9.03)        | (12.13)         | (5.39)          |                |
| C.3 (4)         | <b>-380.5</b>  | 0.00575       | <b>0.00515</b>  | -2.60E-05       | 0.11           |
|                 | (-8.34)        | (0.58)        | (5.90)          | (-0.01)         |                |

Remarque : Estimée pour l'évolution 1990-1998, 1991-1999, 1992-2000, 1993-2001, 1994-2002. Paramètres significatifs en gras et valeurs t entre parenthèses.

a généralement des effets plus importants sur l'évolution de l'offre de main-d'œuvre dans les villes centrales que dans d'autres zones urbaines.

La deuxième partie du système d'équation simultanée en (5.2) illustre la relation entre l'accessibilité à l'offre de main-d'œuvre et l'évolution des emplois dans les communes. Les résultats de régression pertinents sont présentés dans le Tableau 8, une fois encore sur la base des données d'une série de périodes de 8 années. Nous constatons que le nombre d'emplois en 1990 était extrêmement élevé puis a considérablement baissé pendant trois ans. En 1998 il n'avait pas encore retrouvé le niveau de 1990 dans la plupart des zones urbaines. Ainsi, on peut soutenir que la période 1990-1998 est très fortement touchée par les fluctuations du cycle économique, ce qui appuierait le recours à la méthode choisie avec une série de périodes de 8 années.

Les équations (1) et (2) dans le Tableau 8 donnent les mêmes caractéristiques, les paramètres  $\beta_1$  et  $\beta_2$  étant positifs et significatifs, tandis que  $\beta_3$  est négatif, ce qui indique une concurrence avec d'autres régions. L'effet de la concurrence est significatif pour les villes C1. Pour les zones C2, les paramètres  $\beta_2$  et  $\beta_1$  sont positifs et significatifs, ce qui indique que l'augmentation des emplois dans ces communes bénéficie des effets positifs de l'accessibilité intra- et extrarégionale à l'offre de main-d'œuvre, tandis que l'offre locale de main-d'œuvre n'a pas d'effet visible. Enfin, l'équation (4) montre que les zones C3 ne présentent qu'un seul facteur significatif, à savoir l'accessibilité intrarégionale à l'offre de main-d'œuvre.

Les constatations du Tableau 8 nous permettent de conclure de manière générale que le pouvoir de prévision semble être à peu près le même pour les trois catégories de zones urbaines. En d'autres termes, le développement des emplois dans l'ensemble des communes connaît une évolution plus fluctuante que le développement de l'offre de main-d'œuvre. Nous notons en particulier :

- que ce sont uniquement les villes centrales qui profitent de leur offre de main-d'œuvre intra-urbaine.
- que toutes les zones urbaines profitent de l'offre de main-d'œuvre intrarégionale. Les villes centrales ont un plus grand coefficient, mais le reste des régions est toujours plus petit pour la ville centrale (la plus grande) que pour ses voisines.

Le modèle estimé présenté ci-dessus a été appliqué pour l'évaluation de programmes d'investissements routiers et ferroviaires conjoints. La méthode a ensuite consisté à faire des prévisions sans aucune modification de l'infrastructure, suivies d'une nouvelle prévision avec de nouvelles conditions d'accessibilité reflétant le programme d'investissement. Pour calculer les conséquences du programme d'investissement, les deux prévisions ont été comparées pour l'ensemble des zones urbaines, en ajoutant les résultats pour les régions fonctionnelles. L'impact sur la croissance peut être qualifié de modeste, mais néanmoins suffisamment élevé pour compenser les frais d'investissement.

**Tableau 11. Évolution des emplois en réponse à l'accessibilité à l'offre de main-d'oeuvre. Paramètres de régression reposant sur l'équation (5.2b)**

| Type de commune | $\beta_0$ | $\beta_1$     | $\beta_2$      | $\beta_3$      | R <sup>2</sup> |
|-----------------|-----------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Tous (1)        | 101.1     | <b>0.0733</b> | <b>0.00292</b> | -0.00463       | 0.34           |
|                 | (0.41)    | (22.23)       | (3.70)         | (-0.66)        |                |
| C1 (2)          | 1135.8    | <b>0.0721</b> | <b>0.0223</b>  | <b>-0.0585</b> | 0.43           |
|                 | (1.50)    | (8.72)        | (2.63)         | (-2.24)        |                |
| C2 (3)          | 135.4     | 0.00320       | <b>0.00437</b> | <b>0.01357</b> | 0.36           |
|                 | (0.90)    | (0.46)        | (9.87)         | (3.49)         |                |
| C3 (4)          | 122.0     | -0.01474      | <b>0.00274</b> | -0.00309       | 0.39           |
|                 | (1.79)    | (-1.22)       | (2.66)         | (-1.39)        |                |

*Remarque* : Estimée pour l'évolution 1990-1998, 1991-1999, 1992-2000, 1993-2001, 1994-2002. Paramètres significatifs en gras.

## 6. CONCLUSIONS ET REMARQUES

### 6.1 La question de l'organisation spatiale et de l'échelle géographique

Les cinq sections du présent document comportent un message, qui peut raisonner comme un « mantra » : il est possible de représenter l'organisation spatiale d'une économie à l'aide de mesures de l'accessibilité correctement choisies, et l'organisation spatiale des régions urbaines fonctionnelles a des incidences sur la productivité et sur l'évolution de l'économie. Étant donné que les mesures de l'accessibilité reposent sur des distances-temps et sur d'autres composantes des coûts « généralisés » du transport ou d'interaction, la méthode suggérée ici présuppose que l'on dispose d'informations détaillées sur les réseaux et sur les distances-temps correspondantes entre les nœuds du réseau pour chaque mode de transport concerné. Le maintien à jour d'une telle base de données est une tâche difficile. Cependant, l'investissement public en infrastructures de transport doit être motivé par l'accessibilité qu'il crée. L'organisation spatiale présente deux aspects : les réseaux intra-FUR et inter-FUR. Le présent exposé a été consacré en grande partie au premier de ces deux aspects. Une telle orientation générale peut être appuyée par des contributions à l'économie d'agglomération, selon laquelle les grandes régions urbaines sont les moteurs essentiels de l'économie d'un pays et de l'économie globale. Bien entendu cela signifie également que les réseaux inter-FUR ont un rôle important à jouer.

Si l'on s'intéresse ce qu'il est convenu d'appeler la nouvelle géographie économique, la classe de modèles concernés met l'accent sur les échanges et le transport interrégionaux. Elle s'étend ainsi également à ce qu'il est convenu d'appeler la nouvelle théorie des échanges. Les contributions de Krugman (1990, 1992) sont porteuses d'un message double. Le premier est que le coût du transport entre régions est essentiel pour la spécialisation et la croissance des économies régionales. Cependant, le deuxième message est que l'organisation spatiale est régie par la différence entre les coûts de transport intra- et interrégionaux.

Certaines liaisons de transport (et liaisons associées du réseau) ont des incidences directes pour l'accessibilité intra- et interrégionale. C'est souvent le cas pour les autoroutes dont la raison d'être est l'interaction interrégionale, mais dont les incidences sur l'accessibilité régionale sont fortes dans le même temps. D'autre part, une liaison de train à grande vitesse peut avoir des effets intrarégionaux bien inférieurs, même si pour certaines paires de zones urbaines les distances-temps peuvent baisser bien en dessous de 45 minutes – transformant ainsi une liaison interrégionale en une liaison présentant des caractéristiques intrarégionales.

À ce stade, une question de tractabilité se pose. Est-il nécessaire d'analyser les conséquences intrarégionales d'un réseau d'infrastructures séparément des conséquences interrégionales ? De plus, si la réponse semble s'orienter vers le oui, comment les deux résultats distincts peuvent-ils être associés en une conclusion globale ?

## 6.2 Examen des modèles de la section 5

Les processus de changement modélisés dans les sections 5.2 à 5.4 ont tous recours à une structure linéaire. Les résultats de régression incluent dans tous les cas une ordonnée à l'origine significative et négative. Cela devrait signifier que les processus ne sont pas linéaires, calculés à l'aide d'une équation linéaire. Cette conclusion a une incidence temporelle importante : le calcul ne pourra être considéré comme valide que pendant une période limitée. Dans les exemples fournis la période est limitée à 8 années, et d'autres expériences semblent indiquer que cette période ne devrait pas être étendue beaucoup au-delà de 8-10 années. Nous parvenons donc aux conclusions suivantes :

- Une période inférieure à 8 années est trop courte pour représenter convenablement des processus d'ajustement très lents. En particulier, une partie du mécanisme qui améliore l'accessibilité est un processus de redéploiement spatial.
- D'autre part, si l'on rallonge beaucoup la période, l'approximation linéaire devient contestable. Dans la pratique cela signifie que l'ordonnée à l'origine peut cesser d'être valide pendant de plus longues périodes.

Les études signalées dans les sections précédentes et les autres initiatives de recherche suédoises complémentaires ont été limitées par l'absence de matrices complètes de distance-temps pour les périodes antérieures à 1990. Ainsi, il faudra procéder à l'avenir à l'examen de modèles non linéaires sur de longues périodes.

Le présent document a exposé un ensemble de mesures différentes de l'accessibilité. Toutes ces mesures sont – pour une zone urbaine donnée – liées aux mêmes réseaux et au même processus de localisation. En conséquence, les différentes mesures affichent une grande colinéarité. Cela signifie, par exemple, qu'une zone affichant une accessibilité élevée aux emplois jouit généralement aussi d'une accessibilité élevée à l'offre de main-d'œuvre. Cela signifie également qu'une accessibilité élevée aux services domestiques induit une accessibilité élevée aux emplois, les services domestiques étant assurés par des personnes qui travaillent sur le lieu de prestation des services. Cela ne veut pas dire que les mesures sont identiques, mais cela signifie qu'elles doivent être combinées de manière réfléchie. On trouve un exemple de ce type dans le modèle à deux équations des sections 5.3 et 5.4.

La multicolinéarité va encore plus loin. Si l'on introduit l'accessibilité aux capacités aéroportuaires pour rendre compte des possibilités de transport interrégionales, il existe également une forte corrélation entre de telles mesures et les mesures de l'accessibilité intrarégionales. Il n'en demeure pas moins que tout doit être mis en œuvre pour trouver comment associer les informations sur l'accessibilité intrarégionale et sur l'accessibilité interrégionale d'une zone urbaine (Hugosson , 2001, par exemple).

## RÉFÉRENCES

- Andersson Å.E., Batten D.F. et Kobayashi K. (1993), Logistical Dynamics, Creativity and Infrastructure, in Å.E. Andersson, D.F. Batten, K. Kobayashi et K. Yoshikawa (dir. pub.). *The Cosmo-Creative Society – Logistical Networks in a Dynamic economy*, Berlin : Springer-Verlag.
- Armstrong H. et Taylor, J. (1978), *Regional Economic Policy and Its Analysis*. Philip Allen, Oxford.
- Aschauer D.A. (1989), Is Public Expenditure Productive? *Journal of Monetary Economics*. 23:177-200.
- Aschauer D.A. (2000), Do States Optimize? Public Capital and Economic Growth, *Annals of Regional Science*, 34:343-364.
- Barro R.J. et Sala-i-Martin X. (1995), *Economic Growth*, McGraw-Hill, New York.
- Beckmann M.J. (1958), City Hierarchies and the Distribution of City Sizes. *Economic Development and Cultural Change*, IV 3:343-348.
- Bos H. (1965), *Spatial Dispersion of Economic Activity*. Rotterdam: Rotterdam University Press.
- Cheshire P.C. et Gordon I.R. (1998), Territorial Competition: Some Lessons for Policy. *Annals of Regional Science* 32:321-346.
- Christaller W. (1933), *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*, Gustav Fischer, Jena.
- Feldman M.P. et Audretsch D.B. (1999), Innovations in Cities: Science-Based Diversity, Specialization and Localized Competition, *European Economic Review*, 43:409-429.
- Forslund M. et Johansson B. (1995), Assessing Road Investments: Accessibility Changes, Cost Benefit and Production Effects, *Annals of Regional Science* 29:155-172.
- Fujita M. Krugman P. et Venables A.J. (1999), *The Spatial Economy – Cities, Regions and International Trade*, Cambridge Mass. : The MIT Press.
- Fujita M. et Thisse J-F. (2002), *Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location and Regional Growth*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Helpman E. (1984), Increasing Returns, Imperfect Markets and Trade Theory. In R. Jones et P. Kenan (dir. pub.), *Handbook of International Economics*, vol. 1. North Holland, Amsterdam, pp 325-365.
- Henderson, J.V. (1982), Systems of Cities in Closed and Open Economies, *Regional Science and Urban Economics*, 12:325-350.
- Hugosson P. (2001), Interregional Business Travel and the Economics of Business Interaction. *JIBS Dissertation Series No. 009*, Jönköping International Business School.

- Isard, W. (1960), *Methods of Regional Analysis*, MIT Press, Cambridge MA.
- Jacobs J. (1969), *The Economy of Cities*, Random House, New York.
- Jacobs J. (1984), *Cities and the Wealth of Nations*, Random House, New York.
- Johansson B. (1993), Infrastructure, Accessibility and Economic Growth. *International Journal of Transport Economics* XX, 2:131-156.
- Johansson B., Klaesson J. et Olsson M. (2002), Time Distances and Labor Market Integration. *Papers of Regional Science* 81:305-327.
- Johansson B., Klaesson J. et Olsson M. (2003), Commuters' Non-Linear Response to Time Distances. *Journal of Geographical Systems* 5:315-329.
- Johansson B. et Klaesson J. (2007), Infrastructure, Labour Market Accessibility and Economic Development. Dans C. Karlsson, W. Anderson, B. Johansson et K. Kobayashi (dir. pub.), *The Management and Measurement of Infrastructure – Performance, efficiency and innovation*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Karlsson C. et Manduchi A. (2001), Knowledge Spillovers in a Spatial Context – A Critical Review and Assessment. In M.M. Fischer et J. Fröhlich (dir. pub.) *Knowledge, Complexity and Innovation Systems*. Springer, Berlin, pp 101-123.
- Kobayashi K. et Okumura M. (1997), The Growth of City Systems with High-Speed Railway Systems, *Annals of Regional Science*, 31:39-56.
- Kopp A. (2007), Aggregate Productivity Effects of Road Investment: A Reassessment for Western Europe. In C. Karlsson, W. Anderson, B. Johansson et K. Kobayashi (dir. pub.), *The Management and Measurement of Infrastructure – Performance, efficiency and innovation*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Krugman P. (1990), *Rethinking International Trade*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Krugman P. (1991), *Geography and Trade*. Leuven University Press, Louvain, Belgique.
- Lakshmanan T.R. et Hansen W.G. (1965), A retail market potential model. *Journal of the American Institute of Planners* 31:134-143. [Une première application empirique de la représentation de l'accessibilité des facteurs d'attraction spatiale]
- Lakshmanan T.R. et Anderson W.P. (2007), Contextual Determinants of Transport Infrastructure Productivity: The Case for a New Modelling Strategy. In C. Karlsson, W. Anderson, B. Johansson et K. Kobayashi (dir. pub.), *The Management and Measurement of Infrastructure – Performance, efficiency and innovation*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Lakshmanan T.R. et Anderson W.P. (2007), Infrastructure Productivity: What are the Underlying Mechanisms? In C. Karlsson, W. Anderson, B. Johansson et K. Kobayashi (dir. pub.), *The Management and Measurement of Infrastructure – Performance, efficiency and innovation*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Lösch A. (1940), *Die Räumliche Ordnung der Wirtschaft*. Gustav Fischer, Jena.
- Mattsson L-G, (1984), Equivalence Between Welfare and entropy Approaches to Residential Location. *Regional Science and Urban Economics* 14:147-173.

- Mera K. (1973), Regional Production Functions and Social Overhead Capital: An Analysis of the Japanese Case. *Regional and Urban Economics* 3:157-185.
- Moomaw R. et Williams M. (1991), Total Factor Productivity in Manufacturing. Further Evidence from the States. *Journal of Regional Science* 31:17-34.
- Nadiri M.I. et Mamanueas T.P. (1991), The Effects of Public Infrastructure and R&D Capital on the Coststructure and Performance of US Manufacturing Industries. *Working Paper No 3887*, NBER, Cambridge Mass.
- Nadiri M.I. et Mamanueas T.P. (1996), Contribution of Highway Capital to Industry and National Productivity Growth. Federal Highway Authority Administration, Washington DC.
- Romer P.M. (1986), Increasing Returns and Long-Run Growth, *Journal of Political economy*, 94:1002-1037
- Romer P.M. (1990), Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy* 98:71-102.
- Sasaki K., Kunihiya S. et Sugiyama. (1995), Evaluation of Road Capital and its Spatial Allocation, *Annals of Regional Science*, 29:143-154
- Tinbergen J. (1967), The Hierarchy Model of the Size Distribution of Centres, *Papers of the Regional Science Association*, 20:65-80.
- Tsukai M., Ejiri R., Kobayashi K. et Okukura M. (2007). Productivity of Infrastructure with Spillover Effects: A Study of Japan. In C. Karlsson, W. Anderson, B. Johansson et K. Kobayashi (dir. pub.), *The Management and Measurement of Infrastructure – Performance, efficiency and innovation*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Weibull J.W. (1976), An Axiomatic Approach to the Measurement of Accessibility. *Regional Science and Urban Economics* 6:357-379. [Étudie les théories fondamentales relatives aux hypothèses de distance exponentielle et autres effets dissuasifs de la distance.]

**AVANTAGES AU SENS LARGE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT**

**Ian SUE WING, William P. ANDERSON and T.R. LAKSHMANAN**  
**Boston University**  
**Center for Transportation Studies**  
**États-Unis**



## SOMMAIRE

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 1. | INTRODUCTION .....  | 168 |
| 2. | CONTEXTE : EFFETS ÉCONOMIQUES AU SENS LARGE DE<br>L'INVESTISSEMENT DANS LES INFRASTRUCTURES ..... | 169 |
| 3. | MÉTHODES TRADITIONNELLES D'ÉVALUATION DES EFFETS .....  | 171 |
| 4. | COMPTE-RENDU DES ANALYSES D'ÉQUILIBRE GÉNÉRAL SUR LES<br>ENCOMBREMENTS .....                      | 173 |
| 5. | UNE APPROCHE HYBRIDE MÉSO-MACRO.....  | 177 |
|    | 5.1. Résumé algébrique du modèle informatisé d'équilibre général.....                             | 181 |
|    | 5.2. Données et calibrage .....   | 185 |
| 6. | DISCUSSION ET RÉSUMÉ.....   | 186 |
| 7. | ANNEXE : PRÉCISIONS SUR LA MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE.....   | 187 |
|    | 7.1. Conditions de profit zéro et fonctions de demande associées .....                            | 188 |
|    | 7.2. Conditions de transparence du marché.....  | 191 |
|    | 7.3. Conditions d'équilibre des revenus et variables auxiliaires .....                            | 193 |
|    | 7.4. Équilibre général sous forme complémentaire.....   | 193 |
|    | NOTES.....  | 195 |
|    | BIBLIOGRAPHIE.....  | 196 |

Boston, septembre 2007



## RÉSUMÉ

Pour prendre des décisions politiques appropriées, il est crucial d'évaluer correctement les avantages économiques des investissements réalisés dans les infrastructures de transport. À l'heure actuelle, l'essentiel de ces évaluations reposent sur deux catégories d'enquêtes : les études à l'échelle microéconomique, qui prennent la forme d'une analyse coûts-avantages, et les études macroéconomiques, à savoir des analyses économétriques à l'échelle nationale ou régionale. Alors que la première catégorie adopte une perspective d'équilibre partiel et se trouve donc susceptible de passer à côté des avantages économiques au sens large, la seconde est dotée d'un champ d'action trop étendu pour fournir des renseignements pertinents sur des projets ou des programmes d'infrastructure spécifiques. Il est nécessaire de s'inscrire dans des cadres analytiques intermédiaires (échelle mésoscopique), à la fois propres à l'amélioration d'infrastructure concernée et présentant un éventail complet des impacts économiques. La présente étude contribue au développement d'une analyse à l'échelle mésoscopique passant par la spécification d'un modèle informatisé d'équilibre général pouvant évaluer l'impact économique au sens large de l'amélioration des réseaux d'infrastructures de transport. Le modèle s'appuie sur les expressions informatisées d'équilibre général récentes visant à identifier le frein à la productivité des entreprises et à l'utilité des ménages représenté par les encombrements dans les transports (Meyers et Proost, 1997 ; Conrad, 1997) et sur d'autres qui modélisent les encombrements par le biais des budgets de temps explicites des ménages (Parry et Bento, 2001, 2002). Le cœur de notre approche réside dans une représentation du processus par lequel les marchés de biens hors transports et du travail engendrent des demandes dérivées de fret, d'achats et de déplacements domicile-travail. Les encombrements, qui découlent d'un déséquilibre entre la demande dérivée de déplacements et les capacités des infrastructures, sont modélisés comme une augmentation du temps de déplacement sur les différents maillons du réseau. Une augmentation du temps de déplacement grève le budget temps des ménages et diminue la capacité des entreprises de transport à proposer des déplacements pour des niveaux d'intrants donnés. Ces effets donnent lieu à une variation de la productivité, de l'offre de travail, des prix et des revenus. Nous fournissons une représentation algébrique complète du modèle ainsi que les détails de sa mise en œuvre et une présentation des statistiques nécessaires au calibrage du modèle et à son application en analyse politique.

## 1. INTRODUCTION

La plupart des évaluations actuelles des conséquences économiques des investissements dans les infrastructures de transport se répartissent en deux grandes catégories, à savoir à l'échelle micro- et macroéconomique. Les évaluations microéconomiques suivent les procédures de l'analyse coûts-avantages et utilisent des informations sur les conséquences possibles d'un projet, sur le temps de déplacement, sur les flux de circulation, sur les émissions polluantes, sur les accidents, etc., pour estimer la valeur pécuniaire de l'avantage qu'il suppose durant son existence. Cette estimation de rentabilité est ensuite rapportée aux coûts induits par le projet pendant sa durée de vie pour déterminer si ce dernier est économiquement productif. De telles analyses *ex ante* sont souvent nécessaires pour justifier l'allocation de fonds publics à un projet donné (pour un compte-rendu, voir Mackie et Nellthorp, 2001.)

Les études à l'échelle macroéconomiques comprennent des analyses économétriques qui mettent en relation l'investissement total dans les infrastructures de transport (ou leur stock) et les mesures de performance économique de l'ensemble du système. Dans la majeure partie des cas, elles précisent des fonctions de production ou de coûts dans lesquelles les infrastructures publiques sont considérées comme un facteur de production par les entreprises privées d'une région ou d'un pays donnés. Les fonctions de production et de coût estimées apportent la preuve que l'investissement dans les infrastructures tend à améliorer la productivité des entreprises privées et, dans certains cas, rend possible le calcul d'un taux de rendement de l'investissement global en infrastructures (voir l'analyse de Lakshmanan et Anderson, 2002.)

Les deux approches sont complémentaires. Les analyses microéconomiques présentent l'avantage de pouvoir mesurer les conséquences d'une augmentation ou d'une amélioration d'un élément d'infrastructure spécifique, mais la portée de leur évaluation économique se limite aux effets sur les utilisateurs de l'élément concerné ou de ceux qui lui sont étroitement liés, ainsi qu'aux entreprises et aux individus situés dans son voisinage immédiat. Les analyses à l'échelle macroéconomique couvrent un éventail d'impacts économiques plus large, mais elles abordent l'investissement dans les infrastructures comme un bien homogène (mesuré en dollars ou en kilomètres de réseau), ce qui leur confère une utilité réduite pour évaluer la valeur de certains investissements spécifiques. En outre, cette approche macroéconomique s'intéresse peu, voire pas du tout, aux mécanismes à l'origine des effets économiques observés.

Pour fournir une représentation plus complète des effets économiques des infrastructures, il est nécessaire d'adopter un niveau d'analyse intermédiaire. Pour plus de commodité, nous le qualifierons d'échelle « mésométrique », même si les modèles de cette catégorie sont susceptibles de s'appliquer à un grand nombre d'échelles géographiques. Les modèles de cette catégorie doivent répondre aux trois critères préalables que nous leur avons définis.

1. Contrairement aux analyses macroéconomiques, ils doivent comprendre des informations sur certains compléments ou améliorations spécifiques des réseaux d'infrastructures (mais pas nécessairement à un degré de détail aussi approfondi que dans les analyses microéconomiques).
2. Ils doivent de préférence suivre les processus économiques déclenchés par l'amélioration des infrastructures (comme nous l'expliquons plus bas, ces derniers peuvent prendre la forme d'effets d'équilibre général statique ou d'effets dynamiques de développement).

3. Enfin, pour permettre d'évaluer l'ampleur relative des différents mécanismes économiques et servir à la décision politique, ils doivent pouvoir supporter l'application empirique, sur la base de données déjà disponibles ou obtenues à un coût raisonnable.

Pour contribuer à la formation d'analyses mésométriques, nous avons employé un modèle informatisé d'équilibre général intégrant un certain nombre de mécanismes innovants permettant de suivre les conséquences de l'augmentation des capacités des réseaux de transport pour l'ensemble de l'économie. Les investissements en infrastructures sont modélisés comme réduisant les temps de parcours sur les maillons d'un réseau. La principale nouveauté ici consiste à intégrer de manière explicite le temps de parcours dans les problèmes de maximisation de l'utilité et du bénéfice pour les ménages et les entreprises. Pour les premiers, le temps de parcours des déplacements domicile-travail entre dans un budget de temps comprenant également les moments consacrés au travail et aux loisirs. Pour les entreprises qui proposent des services de transport, le temps de parcours influe sur le nombre de voyages susceptibles d'être proposés pour un stock de véhicules donné, ce qui en retour joue sur les prix des biens intermédiaires et des produits finis.

Le reste de notre étude s'articule comme suit : les parties 2 et 3 se penchent sur les effets des infrastructures de transport sur l'économie au sens large et sur les meilleures manières de les analyser.

La partie 4 passe en revue les documents – relativement peu nombreux – publiés sur l'évaluation des effets économiques de l'investissement en infrastructure, dans un cadre d'équilibre général calculable. La partie 5, qui constitue le cœur de notre étude, présente une vue d'ensemble de notre modèle [une représentation algébrique complète, les détails de sa mise en œuvre] et une analyse des données nécessaires. La partie 6 conclut avec une discussion et un résumé. La partie 7 comporte une représentation algébrique complète et les détails de la mise en œuvre de notre modèle.

## **2. CONTEXTE : EFFETS ÉCONOMIQUES AU SENS LARGE DE L'INVESTISSEMENT DANS LES INFRASTRUCTURES**

Les infrastructures de transport jouent un rôle multiple dans l'économie et leurs effets se font sentir sur une longue période. Il semble peu probable qu'un modèle arrive à cerner tous les mécanismes possibles. Aux fins de notre étude, il est utile d'opérer une distinction entre deux catégories d'impacts économiques, que nous qualifierons d'effets d'équilibre général statique d'une part et d'effets dynamiques de développement d'autre part. Les premiers correspondent à un large éventail d'effets sur l'économie liés au temps et à l'argent économisés par l'amélioration des infrastructures. Ces économies de temps et d'argent influent à leur tour sur les coûts marginaux des producteurs de transport, sur la mobilité des individus et sur la demande de biens et de services dans un contexte de réduction des encombrements. Au fur et à mesure que ces changements s'intègrent dans les mécanismes de marché surviennent des évolutions endogènes de l'emploi, de la production et des revenus. Les effets dynamiques de développement procèdent des mécanismes enclenchés par les différents processus interactifs qui affectent avec le temps de nombreux facteurs sectoriels, spatiaux et régionaux qui accroissent la productivité en conséquence de l'amélioration des infrastructures de transport. Ces effets entraînent une transformation de la structure et des schémas économiques, tels que des changements des caractéristiques spatiales de production, la création de nouveaux secteurs et de liens intersectoriels, un changement des modes de vie et des préférences des ménages et une évolution des institutions et des marchés. Tandis que les effets d'équilibre général statique découlent des actions d'un ensemble bien défini d'agents économiques par le biais des marchés, les effets dynamiques de développement supposent des interactions

complexes de facteurs économiques, sociaux, culturels et institutionnels, et ils présentent une idiosyncrasie plus marquée par nature. C'est pour cela que nous n'avons cherché à identifier que la première catégorie d'effets dans notre modèle informatisé d'équilibre général.

Les effets d'équilibre général se manifestent au sein d'un système de relations de marché stable et relativement bien compris. La plupart des activités économiques nécessitent un certain mouvement des biens et des personnes. La production suppose le déplacement des biens intermédiaires vers le site de transformation, les allers et retours des employés entre leur logement et leur lieu de travail (déplacements domicile-travail) et l'acheminement des produits finis vers le marché. Les activités de consommation nécessitent également un mouvement, comme dans le cas des déplacements des ménages à des fins d'achats et de loisirs. Dans la mesure où l'amélioration des infrastructures de transport diminue les coûts de déplacement des biens et des personnes, elle joue un rôle sur le niveau d'activité dans tous les domaines économiques.

Nous décrivons en détail plus bas un certain nombre d'effets d'équilibre général. À des fins d'illustration toutefois, prenons les conséquences des infrastructures sur l'emploi. La plupart des analyses des transports commencent par supposer, de manière implicite ou explicite, que le nombre de personnes effectuant des déplacements domicile-travail sur un réseau donné est fixe. Or, dans un pays comme les États-Unis, l'offre de travail ne présente absolument pas cette inélasticité en raison du fait que d'importants pans de la population, par exemple les mères de famille et les personnes ayant dépassé l'âge habituel de la retraite, se posent la question de participer ou pas au marché du travail. L'offre de travail est habituellement liée au salaire, mais sachant que les déplacements domicile-travail représentent un coût important pour la participation au marché du travail, une amélioration des infrastructures peut inciter davantage de personnes à prendre un emploi. Il va de soi que, dans un cadre d'équilibre général, cela représenterait une évolution de la fonction d'offre de travail, qui affecterait à son tour le salaire d'équilibre et le niveau d'emploi.

Citons un aspect particulier de l'investissement dans les infrastructures de transport, selon lequel les réductions de coûts qu'il entraîne se manifeste souvent plutôt par des économies de temps que d'argent. Pour en revenir à l'exemple des déplacements domicile-travail, un élargissement de route destiné à réduire les embouteillages risque de n'avoir que des effets limités sur les coûts de déplacement des travailleurs (tels qu'une diminution des frais de carburant liée à une meilleure efficacité des changements du cycle de conduite) mais des conséquences majeures sur les temps de déplacement. Comme le temps est une ressource rare pour tout travailleur potentiel, la diminution du temps passé en déplacements domicile-travail est synonyme de temps supplémentaire dégagé pour le travail, pour les loisirs, pour les soins aux enfants, pour la consommation, etc. De ce fait, dans l'évaluation des effets d'équilibre général des infrastructures de transport, le budget temps des ménages est tout aussi important que leur budget de dépenses. En fonction de la taille des salaires relativement à l'utilité marginale des loisirs, l'impact d'une diminution du temps passé dans les déplacements domicile-travail sur l'offre de travail pourrait s'avérer plus important que celui sur les économies d'argent des ménages concernés.

Une approche d'équilibre général des infrastructures de transport admet que la diminution des coûts pécuniaires et temporels des déplacements puisse entraîner une augmentation de l'intensité des différentes activités économiques et, de ce fait, accroître la demande de services de transport supposée par ces dernières. Il s'ensuit que les flux de circulation ainsi entraînés découlent naturellement des mécanismes de marché. Pour de nombreuses analyses des transports, de tels flux sont considérés comme annulant les bénéfices des infrastructures de transport. Un projet dont l'effet de réduction des encombrements se trouve annihilé en quelques années par l'augmentation du trafic est considéré comme un échec. Ce point de vue peut se justifier sur le plan de l'environnement, lorsque le projet vise à réduire les émissions polluantes en améliorant les flux de circulation, mais il suscite des réserves conceptuelles dans une perspective économique au sens large. Les déplacements supplémentaires sont entraînés par un développement des activités économiques (offre de travail, production, consommation, loisirs) se traduisant par un bien-être accru, ce qui suppose que leur augmentation constitue vraisemblablement un avantage. Ce schéma entraîne une conséquence importante : dans un cadre économique au sens large, les avantages d'un projet d'infrastructure de transport

ne peuvent être évalués uniquement au vu des économies de temps de déplacement engendrées. Ce point est particulièrement vrai à moyen-long terme, lorsque le développement des activités économiques rendu possible par l'augmentation des infrastructures accroît la demande de transport jusqu'à ce que celle-ci se rapproche de nouveau d'une saturation des capacités de transport du réseau.

Le fait que nous n'essayions pas d'identifier les effets dynamiques de développement dans notre modèle informatisé d'équilibre général ne vise pas à minimiser leur importance. Les effets de ce type sont particulièrement marqués pour les pays les moins riches, dans lesquels une amélioration des infrastructures représente un accroissement significatif et non marginal de la capacité de ces dernières et qui, combinée aux services de transport qu'elle rend possible, peut faciliter les échanges interrégionaux et l'intégration. Étant donné que l'amélioration des infrastructures et des services diminue les coûts pécuniaires et temporels tout en facilitant l'accessibilité aux différents acteurs du marché – fournisseurs, travailleurs et clients –, il s'en suit avec le temps une expansion du marché, une intégration régionale accrue et une croissance durable. Citons parmi les mécanismes sous-jacents les avantages induits par les mutations commerciales et technologiques ainsi que celles liées au regroupement des activités permis par les transports. L'expérience du Middle West américain suite à une expansion de 400 pour cent du réseau ferré entre 1848 et 1860, reliant essentiellement cette région au Nord-Est des États-Unis et à l'économie mondiale, constitue un exemple largement étudié de ce type de transformation. Il a été largement attesté que le développement des voies ferrées a accéléré le peuplement, l'activité agricole, ainsi que la croissance et la diversification de la production manufacturière, tout en instaurant des mouvements qui ont permis le rapprochement des régions de la Nouvelle-Angleterre et du Nord de la côte Est des États-Unis avec le Middle-West (Fogel, 1964, Fishlow 1965, Lakshmanan et Anderson 2007). On peut trouver au Sri Lanka un exemple plus récent de ce type d'effets d'importants investissements dans les infrastructures routières sur le développement (Gunasekara, Anderson et Lakshmanan 2007, à paraître). Les travaux de portée plus large sur les transports et le développement économique laissent supposer que les infrastructures de déplacement facilitent la transformation des économies de subsistance à faibles revenus en régions agricoles commerciales, le développement de secteurs de base fortement consommateurs de transports et la croissance des villes (Haynes et Button, 2001).

Il serait erroné de penser que les impacts sur l'environnement ne surviennent que dans les premiers temps du développement économique. Même dans une économie mature, l'amélioration des infrastructures de transport peut encourager des changements structurels tels qu'une décentralisation accrue ou le regroupement des activités économiques, une évolution de la manière de procéder des entreprises dans divers domaines tels que la gestion des stocks, la logistique ou autres, des occasions accrues de contact direct ou toute une série de nouvelles possibilités de loisirs (Anderson et Lakshmanan, 2007). Ces impacts, qui jouent sur l'évolution à long terme de l'économie, sont difficiles à évaluer et plus encore à anticiper. Ils n'en sont pas moins importants et une meilleure compréhension des effets de développement devrait permettre d'améliorer les prises de décision dans le domaine des infrastructures de transport.

### 3. MÉTHODES TRADITIONNELLES D'ÉVALUATION DES EFFETS

Comme nous l'avons déjà mentionné, les méthodes actuelles d'évaluation des effets comprennent les études microéconomiques (coûts-avantages) et macroéconomiques (économétriques). L'analyse coûts-avantages représente une méthode quasiment universelle d'évaluation du caractère souhaitable de projets donnés. Sur le plan conceptuel, les avantages économiques sont évalués comme la rente du consommateur, définie relativement à la courbe de demande pour l'équipement d'infrastructure concerné.

L'effet de l'amélioration des infrastructures est représenté comme un mouvement vers la droite de la courbe représentant l'offre d'infrastructure, qui se traduit par une diminution du coût d'utilisation de l'équipement – habituellement plutôt décrit en unité de temps que d'argent – pour tout niveau de demande donné. L'avantage économique associé comporte donc deux composantes, l'une reposant sur les économies de coûts dont bénéficient les usagers qui utilisaient l'équipement avant son amélioration, et l'autre représentant les atouts pour les nouveaux usagers, qui optent à présent pour cet équipement en raison de son coût inférieur.

Étant donné que l'avantage est calculé en termes d'économie de temps, il est nécessaire d'appliquer une valeur à ce dernier pour convertir le bénéfice total en unités pécuniaires pour pouvoir le comparer aux coûts du projet. Les avantages peuvent également être ajustés en fonction de la valeur des effets externes et des accidents de circulation. Comme les avantages s'accumulent chaque année au cours de la durée de vie de l'équipement et que l'essentiel des coûts surviennent au début de celle-ci, la valeur actualisée des flux de rentabilité et de coût est calculée de manière à les rendre comparables. En pratique, le résultat de l'analyse coûts-avantages peut s'avérer extrêmement sensible à la valeur temporelle estimée et aux taux d'actualisation. Si toutefois ces chiffres sont justes, l'intérêt de l'analyse coûts-avantages réside dans l'argument théorique selon lequel la rente du consommateur, qui mesure le prix que l'utilisateur serait prêt à payer, englobe la totalité des avantages économiques<sup>1</sup>. Par exemple, d'autres avantages mesurables, tels que l'appréciation des biens immobiliers proches des équipements améliorés, procèdent essentiellement de la réduction des temps de déplacement et les inclure dans le calcul des bénéfices reviendrait à les comptabiliser deux fois (Forkenbrock et Foster, 1990).

Même les partisans de l'analyse coûts-avantages admettent qu'elle ne met pas en évidence certains impacts sur l'ensemble de l'économie, mais ils font valoir que l'ampleur de ces derniers pour tout projet donné reste probablement limitée (Mackie et Nellthorp, 2001). Toutefois, tous ces impacts combinés pour un certain nombre de projets peuvent se révéler finalement substantiels, ce qui laisse supposer que l'analyse coûts-avantages serait plus appropriée à l'évaluation des projets pris individuellement qu'à celle d'un programme de dépenses d'infrastructure. Comme illustration de l'exclusion de certains impacts économiques au sens large des résultats de l'analyse coûts-avantages, citons le fait que les avantages économiques soient mesurés presque exclusivement sous la forme d'économies de temps alors que, comme nous l'avons déjà souligné, les effets positifs d'équilibre général peuvent s'accumuler même s'il n'y a pas de temps gagné.

Dans la mesure où un programme de dépenses en infrastructures influe de manière significative sur les prix relatifs, ses effets se feront sans doute sentir sur les marchés non intégrés à l'échantillon limité de l'analyse microéconomique coûts-avantages (prenons par exemple les conséquences d'un important investissement en infrastructures réalisé au port de Long Beach sur les marchés de matières premières de la côte Ouest des États-Unis). Dans de tels cas, une analyse qui : (i) ignorerait les changements de prix en considérant ces derniers comme strictement exogènes ; et (ii) ne prendrait en compte que les effets présentant une proximité spatiale ou temporelle, ou limités aux transports et aux secteurs connexes, risquerait largement de ne pas rendre compte pleinement des avantages de l'investissement concerné.

Dans l'analyse coûts-avantages traditionnelle, la question se résume aux conditions dans lesquelles la valeur temporelle constitue une mesure théoriquement valide des impacts monétaires de ces multiples ajustements entre les marchés et dans quelle mesure ces conditions sont susceptibles d'être satisfaites en pratique. Les évaluations macroéconomiques de l'impact économique de l'analyse de productivité prennent généralement la forme de fonctions de production et de coût dans lesquelles les infrastructures de transport constituent le membre de droite (voir l'analyse de Lakshmanan et Anderson, 2002). Malgré un ancrage rigoureux dans la théorie économique, leur qualité suscite néanmoins des doutes significatifs en cela que les fonds publics ne fonctionnent pas comme les capitaux privés dans la technique de production. Par exemple, aucune entreprise ne dispose de l'usage exclusif d'une autoroute et l'on peut faire valoir qu'il existe pour toute entreprise de nombreux segments du réseau autoroutier jamais empruntés. Cependant, une société pourra éventuellement bénéficier d'une autoroute qu'elle n'emprunte pas directement par le biais des moyens

indirects de réduction des coûts des facteurs de production. Les mécanismes en vertu desquels la productivité privée se trouve améliorée par les infrastructures de transport sont donc visiblement divers et complexes. De ce fait, une élasticité positive de la production nous informe de l'existence d'un avantage économique, mais renseigne peu sur ses mécanismes sous-jacents (Anderson et Lakshmanan, 2007). Il est en particulier souvent très difficile de discerner dans quelle mesure l'effet observé relève d'influences de développement et non d'effets d'équilibre général.

Les études macroéconomiques présentent une limite supplémentaire en cela qu'elles traitent les infrastructures de transport comme un bien homogène mesurable en dollars. Une telle quantification peut se justifier dans le cas de capitaux privés, puisqu'il n'est pas déraisonnable de supposer que la valeur d'un bien d'équipement reflète son produit de revenu marginal déterminé sur la base de la concurrence. Dans le cas des infrastructures de transport, décidées selon des mécanismes visant vraisemblablement à mettre l'accent sur des objectifs de distribution ou sur des priorités politiques plutôt que sur l'efficacité économique, une telle hypothèse peut être remise en question. Il est hautement probable que certains types d'investissement dans certains lieux soient plus productifs que d'autres.

Pour résumer, les résultats des études macroéconomiques font ressortir un lien significatif entre le capital public et la productivité privée, mais sans apporter beaucoup de renseignements concernant les explications ou les directives politiques.

#### 4. COMPTE-RENDU DES ANALYSES D'ÉQUILIBRE GÉNÉRAL SUR LES ENCOMBREMENTS

Nous nous sommes concentrés sur deux ensembles d'études de simulations ayant modélisé l'interaction entre les infrastructures et les encombrements à l'échelle de l'ensemble de l'économie. Le premier ensemble, composé d'études de Mayeres et Proost (1997), de Conrad (1997) et de Conrad et Heng (2000), définit un indice d'encombrement explicite ( $Z$ ), et a modélisé une fonction du niveau d'utilisation du total des infrastructures ou capacités de transport, dans laquelle ces dernières sont exprimées, soit en termes d'activité globale de transport, soit par la taille du stock de capital en véhicules. Les encombrements pénalisent la productivité des entreprises et la fonction d'utilité de la consommation, respectivement en raison de la réduction de la vitesse à laquelle les entreprises peuvent acheminer leurs produits sur le marché et de la baisse de qualité des services de transport utilisés par les ménages. Le second ensemble d'études (Parry et Bento, 2001 puis 2002) modélise les encombrements par le biais d'un budget temps explicite des ménages. L'augmentation des temps de trajet liée à la croissance de l'activité de transport entraîne une réduction de l'offre de travail ainsi qu'une baisse de la consommation de loisirs et de services des producteurs de transport.

Mayeres et Proost (1997) ont élaboré un modèle d'équilibre général stylisé appliqué qui cerne le cœur du problème des encombrements sans simuler le processus par lequel les dépenses d'infrastructures affectent la valeur du temps. Les auteurs ont étudié une unité économique simple composée d'un ménage typique maximisant la fonction d'utilité et de deux entreprises représentatives, le tout résumé sous forme algébrique comme suit :

$$\max_{C, \Lambda, q_p, R} U(C, \Lambda; Z^{-\xi} q_p) \quad (\text{MP1})$$

sachant que :

$$C + q_p + R \leq Z^{-\varpi} f_1(h_1, q_F) \quad (\text{MP2})$$

$$q_F = f_2(h_2) \quad (\text{MP3})$$

$$h_1 + h_2 + \Lambda \leq H \quad (\text{MP4})$$

$$Z = 1 / [1 - (q_p + q_F) / (CAP + R)]^{1.5} \quad (\text{MP5})$$

Dans l'équation (MP1), l'utilité ( $U$ ) du ménage découle de la consommation d'un bien final ( $C$ ), du transport de passagers ( $q_p$ ) et des loisirs ( $\Lambda$ ). D'après l'équation (MP2), l'entreprise 1 combine les contributions du travail ( $h_1$ ) et de l'acheminement de fret ( $q_F$ ) selon la fonction de production  $f_1$  pour générer le bien final, qui pourra être consommé directement, alloué à des services de transport de passagers ou utilisé pour la création de nouvelles infrastructures de transport ( $R$ ). L'entreprise 2 fournit des services de fret à partir du travail ( $h_2$ ) et selon la fonction de production  $f_2$  dans l'équation (MP3), tandis que les arbitrages entre travail et loisirs de l'équation (MP4) sont soumis à la dotation en travail du ménage ( $H$ ). L'équation (MP5) précise comment le décalage entre l'activité de transport totale et les capacités des infrastructures ( $CAP$ ) favorise une augmentation des encombrements en vertu d'une fonction de restriction des capacités qui s'appuie sur les travaux d'Evans (1992). En retour,  $Z$  influe de manière négative à la fois sur la productivité du producteur des biens finaux et sur la qualité du transport de passagers dont dispose le ménage, en fonction respectivement des élasticités  $\xi$  et  $\varpi$ . L'investissement dans les infrastructures réduit les encombrements en accroissant les capacités de circulation, mais au prix d'une diminution de la consommation.

Les travaux de Conrad (1997) et de Conrad et Heng (2002) mettent ces théories en application dans le contexte d'un modèle informatisé d'équilibre général à dynamique récursive à grande échelle (GEM-E3). Les auteurs développent les mécanismes sous-jacents de l'équation (MP5) en mettant au point un modèle explicite de l'influence des infrastructures globales sur l'utilisation des stocks de véhicules. Leur unité économique se compose d'un ménage typique maximisant la fonction d'utilité et de  $j = \{1, \dots, J, Tr\}$  entreprises, où  $Tr$  fournit des services de transport. Le capital des entreprises se répartit entre un capital « mouvant » évoluant d'un secteur à l'autre ( $k_j$ ) et le capital de transport ( $kt_j$ ), un facteur fixe représentant les véhicules. Dans la version la plus simple du modèle des auteurs, la quantité totale d'infrastructures de transport ( $KI$ ) reste constante, et c'est sa différence avec le niveau socialement optimal ( $KI^*$ ) qui explique les encombrements responsables d'une réduction de la productivité de  $kt$  :

$$\max_{C_j} U(C_1, \dots, C_J; Z^{-\xi} C_{Tr}) \quad (\text{CH1})$$

sachant que

$$\sum_v X_{v,j} + C_j \leq f(X_{1,j}, \dots, X_{I,j}; h_j, k_j, kt_j^e) \quad (\text{CH2})$$

$$kt_j^e = kt_j Z^{-\varpi} \quad (\text{CH3})$$

$$kt_j = kt_j^0 \exp(-a / KI) \quad (\text{CH4})$$

$$Z = \exp\left(-\sum_j a\omega_j\left(\frac{1}{KI} - \frac{1}{KI^*}\right)\right), \sum_j \omega_j = 1 \quad (\text{CH5})$$

$$H = \sum_j h_j, \quad (\text{CH6})$$

$$K = \sum_j k_j. \quad (\text{CH7})$$

$$KI \text{ fixe} \quad (\text{CH8})$$

$$KI^* \approx \kappa \sum_j \pi_j^{KT} kt_j / P^{KI} \quad (\text{CH9})$$

Dans (CH1), le ménage dérive son utilité de la consommation de  $C_j$  unités de chaque bien, et les encombrements amoindrissent la qualité des services de transport consommés. La  $j^{\text{th}}$  entreprise produit un bien unique, à la fois consommé et utilisé comme facteur de production intermédiaire ( $X_{i,j}$ ) pour les  $i$  autres entreprises (CH2). La production est décrite par une fonction emboîtée à élasticité constante de substitution (CES)  $f_j$ , qui associe les facteurs de production intermédiaires au travail ( $h_j$ ), au capital mouvant ( $k_j$ ) et aux unités effectives de capital de transport ( $kt_j^e$ ). Ces dernières représentent une quantité de capital fixe de référence ( $kt_j^0$ ) dont la productivité augmente de manière exponentielle en fonction des infrastructures dans (CH4) et se trouve amoindrie par les encombrements dans (CH3). Ces influences sont modulées respectivement par le coefficient  $a$  et par l'élasticité  $\varpi$ , tandis que le facteur  $\exp(-a / KI) < 1$  peut être interprété comme une mesure d'utilisation des capacités. L'équilibre entre les demandes de travail, de capital et d'infrastructure et la dotation à ces différents facteurs ( $H$ ,  $K$  et  $KI$ ) est représenté par les conditions (CH6) à (CH8). Enfin, l'équation (CH5) définit les encombrements en termes de moyenne pondérée du taux d'utilisation du capital de transport par rapport au taux d'utilisation optimal, avec une pondération de  $\omega_j$  pour le secteur. Conrad (1997) dérive la condition d'une identité (CH9) optimale en se fondant sur l'hypothèse selon laquelle il existerait un agent de planification administratif exogène à visée sociale dont l'objectif serait de minimiser les dépenses totales de l'unité économique dans les transports. La fonction d'offre qui en résulte pour  $KI^*$  est exprimée en fonction des quantités de capital de transport des entreprises, de leurs prix d'équilibre ( $\pi_j^{KT}$ ), du coût social marginal de l'apport d'infrastructures ( $P^{KI}$ ) et de l'élasticité du capital de transport par rapport à ces dernières ( $\kappa$ ).

Cette approche présente l'avantage d'être facile à paramétrer numériquement<sup>2</sup>. Sa principale limite réside toutefois dans le fait qu'elle ne fasse pas explicitement ressortir le lien entre les encombrements et les investissements en infrastructures et la valeur du temps (voir par exemple le multiplicateur de Lagrange dans l'équation (MP4)), dont le rôle dans l'analyse coûts-avantages consiste à indiquer à quel moment la diminution des premiers dépasse le coût marginal des seconds. Le mécanisme pertinent est identifié par le deuxième ensemble d'études, qui modélisent la production de déplacements comme nécessitant des contributions de temps qui s'inscrivent de manière explicite dans les contraintes du budget temps d'un ménage.

Parry et Bento (2001) mettent l'accent sur l'impact sur les dépenses de temps de la substitution au sein des différents modes de déplacement. Leur modèle de déplacements domicile-travail est stylisé : la production est représentée de la manière la plus simple possible et le fret n'est pas pris en compte. L'unité économique se compose d'un ménage maximisant la fonction d'utilité, d'un producteur de biens finaux et de trois entreprises de transport (notées par l'indice  $m$ ), correspondant chacune à un mode donné : routes encombrées ( $R$ ), transports en commun ( $P$ ) et trafic fluide ( $F$ ).

$$\max_{C, \Lambda, q_R, q_P, q_F} U(C, \Lambda) \quad (\text{PB1})$$

sachant que :

$$C + \sum_m X_m \leq \min(H, Q) \quad (\text{PB2})$$

$$Q = f(q_R, q_P, q_F) \quad (\text{PB3})$$

$$q_m = \begin{cases} \min(X_m / v_m, T_m / \tau_m) & m = P, F \\ \min[X_m / v_m, D(T_m, d_1 - d_2 q_m) / \tau_m] & m = R \end{cases} \quad (\text{PB4})$$

$$H + \Lambda + \sum_m T_m \leq \bar{T} \quad (\text{PB5})$$

Le ménage dérive l'utilité de la consommation du bien final et des loisirs dans (PB1). L'équation (PB2) indique que la production de l'entreprise qui fabrique les biens finaux découle du travail et des services de transport cumulés ( $Q$ ) selon une technologie à coefficient fixe, et qu'elle peut être, soit consommée, soit allouée à des usages intermédiaires par les entreprises de transport ( $X_m$ ). Les services de transport sont définis dans l'équation (PB3) comme un ensemble composite des déplacements selon les différents modes ( $q_m$ ),  $f$  servant à dénoter une fonction cumulée à élasticité constante de substitution (CES). En retour, la production de déplacements de l'équation (PB4) nécessite l'emploi de marchandises intermédiaires et d'un temps de trajet ( $T_m$ ). Dans le cas des transports en commun et du trafic fluide, la génération de déplacements est modélisée à l'aide d'une fonction de transformation de Leontief, dont les coefficients ( $v_m$  et  $\tau_m$ ) représentent les dépenses d'argent et de temps pour chaque trajet. Il s'ensuit que pour ces modes de déplacement le degré d'encombrement est exogène, avec des dépenses de temps marginales constantes  $\tau_m$ . À l'inverse, sur les routes embouteillées, le degré d'encombrement est endogène. Le procédé de modélisation utilisé pour représenter ce phénomène est la fonction CES cumulée  $D$ , qui définit à quel point sont substituables le temps de trajet et la « capacité routière disponible », découlant de la fonction linéaire  $d_1 - d_2 q_R$  (avec  $d_1$  et  $d_2$  constants). Enfin, le budget temps de l'équation (PB5) suppose que la somme de l'offre de travail, des loisirs et du temps total de déplacement domicile-travail épuise totalement la dotation en temps du ménage ( $\bar{T}$ ).

Selon la simple logique du modèle, la production induit une demande dérivée de transport. Étant donné que les déplacements effectués selon les modes encombrés (dans ce cas les routes,  $R$ ) augmentent, les encombrements se multiplient également, ce qui réduit en conséquence la capacité disponible et le temps passé à se déplacer selon ces modes, et implique une substitution de ceux-ci par d'autres solutions plus fluides. Les paramètres critiques de ce processus sont l'élasticité de la substitution entre les modes de déplacement en  $f$  et entre les temps de trajet et les capacités non employées des modes de déplacement en  $D$ , ainsi que les coefficients de la fonction de disponibilité de la route.

L'étude complémentaire de Parry et Bento (2002) cite les déplacements sur les autoroutes encombrées ( $RF$ ) et sur les routes secondaires ( $RB$ ) comme des modes de déplacement supplémentaires, intègre des externalités telles que les accidents ou la pollution atmosphérique (que nous notons par la fonction  $E$ ) et représente les encombrements en termes de temps de trajet à l'aide d'une approche plus traditionnelle.

$$\max_{C, \Lambda, q_{RF}, q_{RB}, q_P, q_F} U(C, Q, \Lambda) - E(q_{RF}, q_{RB}, q_P, q_F) \quad (\text{PB1}')$$

sachant que (PB3), (PB5) et:

$$C + \sum_m X_m \leq H \quad (\text{PB2}')$$

$$X_m = V_m q_m \quad (\text{PB6})$$

$$T_m = \tau_m q_m \quad (\text{PB7})$$

$$\tau_m = \tau_m^0 [1 + 0.15(q_m / \text{CAP}_m)^4], \quad m = RF, RB \quad (\text{PB9})$$

Les services de transport sont à présent inclus comme un argument supplémentaire de la fonction d'utilité du ménage, de même que les externalités hors encombrements (PB1'). Comme auparavant, l'unique facteur de production est le travail, dont l'offre est contrebalancée par les loisirs et les déplacements en fonction de la contrainte du budget de temps (PB5). Ici toutefois, l'équation (PB2') suppose que chaque unité de travail produit une unité du bien final, qui peut être consommée ou utilisée pour payer les déplacements, ce qui l'intègre dans les services de transport cumulés (PB3). Comme dans l'identité (PB4), les déplacements supposent un coût pécuniaire marginal fixe (PB6), mais des dépenses marginales de temps (PB7) qui augmentent avec les encombrements. L'équation (PB10) définit cette dernière relation à l'aide de la formule classique des contraintes de capacité du *Bureau of Public Roads* américain (BPR).

Dans les deux modèles de Parry-Bento, le multiplicateur de Lagrange de l'équation (PB5) représente la « véritable » utilité marginale du temps, qui tient compte des interactions d'équilibre général entre l'offre de travail, la consommation du bien final et de loisirs et le rapport offre/demande des différents modes de déplacement. Cependant, la valeur du temps qui ressort de cette analyse ne rend pas complètement compte des canaux par lesquels se font ressentir les effets des encombrements. En particulier, la simple représentation de la production ne parvient pas à refléter la manière dont les retards de déplacement affectent les entreprises ou dont ceux-ci peuvent être eux-mêmes accentués par la livraison de produits finis aux marchés de détail ou par le comportement d'achat des ménages.

De même, les caractéristiques des possibilités de substitution des transports sont simplistes. Les modèles de Parry-Bento sont des « maquettes » qui ne proposent des solutions que pour quelques modes de déplacement très globaux et qui peuvent se permettre de s'appuyer sur un indice de référence synthétique de distribution des déplacements<sup>3</sup>. Dans la partie 5.2, nous prévenons que le passage à des statistiques réelles pour effectuer le calibrage numérique des fonctions d'agrégation des services de transport peut se révéler assez complexe. Le reste de l'étude se penche sur ces questions et examine leurs implications pour l'élaboration de modèles informatisés d'équilibre général à grande échelle centrés sur les transports.

## 5. UNE APPROCHE HYBRIDE MÉSO-MACRO

C'est une approche hybride que nous proposons d'adopter, en cela qu'elle vise à rendre compte des caractéristiques des infrastructures, des encombrements et des transports à l'échelle mésométrique, dans le cadre traditionnel d'un modèle informatisé d'équilibre général. Nous considérons une économie statique comportant  $N$  entreprises représentatives à but de maximisation des profits, produisant chacune un bien unique et distinct. Les entreprises et les biens se répartissent en deux catégories, à savoir  $I$  pour les producteurs hors transports et les biens et services associés, que nous notons avec l'indice  $i = \{1, \dots, I\}$ , et  $M$  pour les entreprises de transport ou de logistique et les services qui leur sont associés, que nous notons avec l'indice  $m = \{1, \dots, M\}$ . Pour établir une distinction entre les entreprises et leur production, nous utilisons l'indice  $j = \{1, \dots, I\}$  pour les producteurs hors transports. En outre, nous établissons l'ensemble des producteurs de transports de telle manière qu'à chaque entreprises corresponde à un modèle de déplacement désagrégé unique, par exemple le transport de fret par voie ferrée ainsi que par camion, le transport aérien de passagers et de marchandises, le

trafic routier individualisé par véhicule particulier, les déplacements routiers et ferrés locaux et interurbains par abonnement, etc. Les entreprises hors transports fournissent des biens et des services pour répondre à la demande intermédiaire d'autres sociétés ainsi qu'à la consommation finale des ménages. Les entreprises de transport leur fournissent des services de fret et proposent aux ménages une offre de transport. Dans cette unité économique, les ménages sont modélisés comme un agent visant à maximiser la fonction d'utilité, qui détiendrait les facteurs de production (les heures de travail,  $H$ , et le capital,  $K$ ) et les louerait aux entreprises en échange d'un paiement finançant la consommation de biens.

Le cœur de notre approche réside dans une représentation du processus par lequel l'activation des marchés des biens hors transports et du travail induit une demande indirecte de transport. Nous prenons notamment pour hypothèses les points suivants :

- (a) Chaque unité de bien hors transport nécessite l'acheminement de fret vers les sources de demande intermédiaire ou finale ;
- (b) L'acquisition finale par l'agent représentatif de ces biens et services nécessite des déplacements vers les lieux de distribution pour que la production soit convertie en utilité ; et
- (c) La location de travail par l'agent aux entreprises suppose des déplacements domicile-travail.

Ces trois types de mobilité seront notés respectivement au moyen des exposants  $TF$ ,  $TC$  et  $TH$ .

Nous partons du principe que les ménages se trouvent confrontés à deux contraintes budgétaires, à savoir une contrainte pécuniaire selon laquelle les achats de marchandises ne doivent pas excéder leur facteur de revenu, et une contrainte de temps selon laquelle la durée des déplacements nécessaires aux courses et aux trajets entre le domicile et le travail ne doit pas dépasser une allocation temporelle totale. Ce dernier point induit une tension entre les dépenses de temps de trajet à des fins de consommation et la génération de revenu. Pour que les ménages augmentent la première, il faut que la seconde augmente, ce qui ne peut être obtenu à court terme qu'en louant davantage d'heures de travail aux entreprises, ce qui peut entraîner comme effet secondaire une augmentation ou un allongement des journées de travail. La capacité à gagner un revenu est toutefois limitée par le fait que la consommation de davantage de biens hors transport nécessite des déplacements supplémentaires vers les lieux de distribution, et donc des dépenses de temps correspondantes.

Même si les entreprises ne disposent pas de budgets temps explicites, nous partons du principe que les contraintes de temps influencent implicitement la production. Nous considérons les entreprises hors transport comme des « usines » dont les produits sont fabriqués grâce au travail, au capital et à la contribution intermédiaire des autres entreprises hors transport. Pour que ces produits soient consommés, ils doivent être expédiés vers leurs marchés, ce qui induit une demande de déplacement qui sera satisfaite par les entreprises de transport. Un des éléments fondamentaux dans notre modèle établit que ces dernières ne produisent pas directement de services de transport, mais que leur production prend la forme de services d'acheminement généralisés, sous forme notamment de véhicules sur la route, de trains sur des rails, d'avions dans le ciel, etc., dont la capacité dépend des stocks de capital de transport (c'est-à-dire de véhicules). Nous pouvons ainsi modéliser le mécanisme faisant que les encombrements pénalisent la productivité des entreprises : *la vitesse*, équivalente pour tout segment donné du réseau de transport à l'inverse du temps de trajet, est nécessaire à la transformation de ces services en déplacements. De ce fait, au vu d'une capacité donnée à produire des services de transport, une augmentation des temps de trajet se traduit par une diminution des déplacements. Toutes choses égales par ailleurs, ce phénomène a pour principales conséquences de réduire la productivité des facteurs contribuant au transport et d'accroître le coût moyen des déplacements, de freiner les mouvements de passagers et de biens hors transport et de diminuer la production et la consommation.

Ces procédés nous permettent de modéliser de manière tout à fait innovante les conséquences des encombrements. Ces derniers correspondent à une augmentation du temps de trajet issue du déséquilibre entre la demande dérivée globale de mobilité et la capacité du stock d'infrastructures de transport à faire face

aux flux de déplacements désirés. Notre représentation des déplacements admet trois canaux par lesquels les encombrements sont susceptibles de freiner l'activité, correspondant aux points (a) à (c) ci-dessus :

- Une augmentation de la durée des déplacements privés des ménages par unité de consommation, qui atténue cette dernière par le biais de la contrainte du budget temps. En fonction des élasticités concernées, le temps passé au travail ou à des activités de loisirs peut également augmenter ou diminuer, mais le résultat standard sera une diminution de l'utilité.
- Une réduction de la productivité moyenne des producteurs de transports. Étant donné que les encombrements allongent la durée de l'acheminement de fret sur une distance particulière, ils diminuent le nombre de déplacements que peut fournir le producteur de transports avec une flotte de véhicules donnée. La perte de temps utile – et donc de revenu – qui en découle crée une dissidence entre le coût marginal de la production de chaque entreprise de transport et la valeur unitaire de ses déplacements consommés par les entreprises et par les ménages, tout comme un impôt.
- La perte de temps dans les déplacements domicile-travail, par le biais de la contrainte du budget temps, qui réduit l'offre de travail globale. Son effet est similaire à celui d'un impôt sur le travail.

Pour contribuer de manière efficace à une analyse coûts-avantages microéconomique traditionnelle, toute tentative de représentation de ces influences au moyen de modèles descendants concernant l'ensemble de l'économie doit se concentrer sur plusieurs points. Premièrement, le fait de considérer les effets des encombrements *dans leur ensemble* ne fournira qu'un éclairage limité, puisque seule une fraction des maillons du réseau de transports d'un pays sera encombrée. Ces maillons sont ceux qui se portent candidats aux projets d'infrastructure. Suite à cette observation, il est un deuxième point à prendre en considération, à savoir le fait que les déplacements doivent être pensés comme des produits différenciés, dont la répartition d'équilibre entre les maillons du réseau sera une fonction des coûts marginaux des producteurs de transports, de la demande de biens et de mobilité des passagers exprimée par les entreprises et les ménages et de la distribution des temps de trajet et des encombrements. De manière générale, les investissements en infrastructures suffisamment importants se traduiront par des changements non marginaux *simultanés* de *toutes* ces variables, dont le caractère dépendra à la fois de l'ampleur des investissements et leur emplacement sur le réseau. Enfin, pour rendre compte de manière appropriée des effets dissipatifs des encombrements, il convient d'opérer une distinction entre la production de services de transport et la consommation des trajets rendue possible par ces derniers. Les entreprises de logistique et de transport de passagers alloueront leur production aux segments du réseau dégagant le revenu marginal le plus élevé, tandis que les ménages et les entreprises hors transports dirigeront leur demande de déplacements vers les maillons au coût marginal le plus faible. Le défi central consiste donc ici à mettre au point un moyen, adaptable informatiquement, de modéliser l'équilibre entre, du côté de l'offre, la transformation des services de transport en déplacements et, du côté de la demande, l'accumulation des déplacements en mouvements de passagers et de marchandises de manière à résoudre la substitution des trajets sur des liens encombrés par des voies plus dégagées.

Pour ce faire, la manière la plus simple consisterait à réduire au minimum les caractéristiques spatiales de la structure du réseau. Notre stratégie consiste à prendre pour hypothèse l'existence d'un réseau de transport générique avec  $l = \{1, \dots, L\}$  liens, dans lequel l'allocation des déplacements réalisés par les producteurs de transports  $m$  se ferait de manière concurrentielle. Ce choix nous permet de préciser un modèle descendant de complexité intermédiaire capable de rendre compte des réactions macroéconomiques affectant – et affectées par – l'équilibre de Wardrop, tout en servant de passerelle vers des modèles moins compacts d'équilibre du réseau (par exemple Ferris *et al.*, 1999). Nous formons l'hypothèse simplificatrice clé selon laquelle les déplacements des différents modes constituent des substituts imparfaits, dont les coûts marginaux pour les consommateurs de transport et les revenus marginaux des producteurs de transport diffèrent. De ce fait, lorsque les entreprises hors transports expédient leur produit sur le marché, ou que les ménages fournissent du travail ou consomment un produit donné, chacun de ces acteurs choisit simultanément les distances, les voies et les modes de déplacements en répartissant ceux-ci entre  $l$  et  $m$  de manière à minimiser le coût total du

transport. Symétriquement, chaque société de logistique ou de transport de passagers opère simultanément un choix entre les différentes distances/voies et charges utiles en allouant les services de transport qu'elle produit en fonction de  $l$  et de  $j$  dans le cas du fret, de  $l$  et de  $i$  pour les achats des ménages, et de  $l$  seulement pour les déplacements domicile-travail, afin de maximiser son revenu.

Nous concrétisons ces théories en exprimant les demandes de transport comme des fonctions à élasticité constante de substitution (ou fonctions CES) des trajets par mode de déplacement. De ce fait, la demande de transport de fret par la  $j^{\text{ème}}$  entreprise,  $Q_j^{TF}$ , est modélisée comme une fonction CES globale des déplacements,  $q_{j,l,m}^{TF}$ , effectués par le mode de transport  $m$  sur le maillon du réseau  $l$  pour livrer le produit de  $j$  à ses clients intermédiaires et finaux. De même, nous modélisons la demande totale de transport des ménages pour consommer le  $i^{\text{ème}}$  bien,  $Q_i^{TC}$ , comme une fonction CES des déplacements des personnes,  $q_{i,l,m}^{TC}$ , selon toutes les combinaisons de modes de déplacements et de maillons du réseau, et la demande globale de transport liée à l'offre de travail,  $Q^{TH}$ , comme une fonction CES des différents déplacements domicile-travail propres à chaque mode de transport et à chaque maillon du réseau,  $q_{l,m}^{TH}$ . Nous recourons au même procédé du côté de l'offre de transports, en exprimant les trajets assurés par chacune des entreprises de transport comme un développement à élasticité constante de transformation (CET) de la production de ces dernières. Il s'ensuit que les déplacements  $q_{j,l,m}^{TF}$ ,  $q_{i,l,m}^{TC}$  et  $q_{l,m}^{TH}$  de la société  $m$  sont modélisés comme une fonction CET de l'offre totale de services de transport par mode,  $Y_m$ . Parry et Bento (2001) soulignent que la capacité de substitution entre les différents modes de transport allège les coûts de réduction des encombrements. Selon notre hypothèse supposant que les ménages et les entreprises effectuent une substitution aussi bien en ce qui concerne les modes de transport que les segments du réseau, les élasticités des fonctions susmentionnées à élasticité constante de substitution et à élasticité constante de transformation auront certainement une influence clé sur le profit marginal des investissements en accroissant la capacité des segments encombrés.

Cette formule est attrayante en cela qu'elle donne automatiquement différents niveaux d'encombrement pour chaque mode de transport et pour chaque segment du réseau. Les encombrements sont fonction du flux total de déplacements engendrés par chaque mode de déplacements sur un maillon du réseau donné,

$$\vartheta_{l,m} = \sum_i \left( q_{i,l,m}^{TC} + q_{i,l,m}^{TF} \right) + q_{l,m}^{TH}, \quad (1)$$

et la capacité théorique du segment de temps de trajet particulier,  $CAP_{l,m}$ , tel que  $\vartheta_{l,m} > CAP_{l,m}$ , sur ce lien,  $\tau_{l,m}$ , augmente rapidement. Ce phénomène peut être représenté de manière simple par la formule du BPR (PB9) :

$$\tau_{l,m} = \tau_{l,m}^0 \left( 1 + 0.15 \left( \vartheta_{l,m} / CAP_{l,m} \right)^4 \right) \quad (2)$$

dans laquelle  $\tau_{l,m}^0$  représente le temps de trajet en flux libre propre à chaque mode et à chaque maillon du réseau.

La dépendance de la capacité des investissements en infrastructures constitue une contribution exogène au modèle, qui doit être élaborée à partir des caractéristiques existantes du réseau de transport, des maillons de ce dernier candidats à une amélioration et des changements prévus des flux de déplacements en conséquence du projet proposé. Les équations (1) et (2) établissent une connexion essentielle entre les déplacements des ménages pour la consommation de biens ou pour aller et revenir de leur travail d'une part et les déplacements des entreprises de logistique pour livrer des marchandises d'autre part. La croissance de n'importe lequel des types de transport accroît le flux total de déplacements sur l'ensemble du réseau, ce qui allonge les temps de trajet et incite les acteurs économiques à revoir l'allocation de leurs déplacements au profit de voies moins encombrées, mais aussi à réduire leur mobilité de manière générale. Comme nous l'avons déjà mentionné, il s'ensuit une diminution à la fois de la quantité de travail fournie et de la consommation de biens et de services par les ménages. De cette manière, les capacités en infrastructures exercent un frein fondamental sur le développement de l'activité économique.

### 5.1. Résumé algébrique du modèle informatisé d'équilibre général

Commençons avec une description des ménages dans notre unité économique théorique. Nous partons du principe que l'existence d'un agent représentatif dont l'utilité est représentée par la fonction CES emboîtée de la Figure 1A. Tout en haut de la hiérarchie des emboîtements, l'agent obtient l'utilité ( $U$ ) à partir de biens de consommation hors transports ( $\hat{C}_i$ ) et de loisirs ( $\Lambda$ ), pour l'élasticité de substitution  $\sigma^U$  et les coefficients techniques  $\alpha_i$  et  $\alpha_\Lambda$  :

$$U = \left( \sum_i \alpha_i (\hat{C}_i)^{(\sigma^U - 1)/\sigma^U} + \alpha_\Lambda \Lambda^{(\sigma^U - 1)/\sigma^U} \right)^{\sigma^U / (\sigma^U - 1)} \quad (3)$$

Le deuxième niveau de la hiérarchie de l'utilité décrit comment la demande de biens induit une demande dérivée de transport de personnes. Nous exprimons chaque unité de biens livrée comme une fonction CES composite des services de transport,  $Q_i^{TC}$  (c'est-à-dire les déplacements effectués aux fins d'achat des biens) et du bien concerné ( $\tilde{C}_i$ ) dont la consommation nécessite des dépenses de transport, avec une élasticité de substitution  $\sigma_i^C < 1$  et des coefficients techniques  $\beta_i^{TC}$  et  $\beta_i^C$  :

$$\hat{C}_i = \left( \beta_i^{TC} (Q_i^{TC})^{(\sigma_i^C - 1)/\sigma_i^C} + \beta_i^C (\tilde{C}_i)^{(\sigma_i^C - 1)/\sigma_i^C} \right)^{\sigma_i^C / (\sigma_i^C - 1)} \quad (4)$$

Chaque bien consommé par les ménages constitue en lui-même une combinaison des biens et des services effectivement achetés par les consommateurs et des services de transport de fret, ce que nous étudierons plus en détail par la suite. Précisons que l'équation (4) illustre implicitement la distinction de Lakshmanan et Hua (1983) entre les transports facultatifs et obligatoires : lorsque le déplacement est un facteur nécessaire à la consommation ( $\sigma_i^C < 1$ ), les ménages décident eux-même de leur quantité effective de déplacement. Par conséquent, notre formule rend compte de la capacité des consommateurs à substituer les déplacements de passagers ( $Q_i^{TC}$ ) à la composante de transport de fret  $\tilde{C}_i$ , par exemple en choisissant de se déplacer vers les points de vente pour acheter les marchandises plutôt que de se les faire livrer directement chez eux. Tout en bas de l'échelle, les services de transport nécessaires à la consommation du bien  $i$  sont une fonction CES composite des trajets à but d'achat ( $q_{i,l,m}^{TC}$ ) effectués sur chaque maillon du réseau de transport et selon chaque mode de déplacement :

$$Q_i^{TC} = \left( \sum_l \sum_m \gamma_{i,l,m}^{TC} (q_{i,l,m}^{TC})^{(\sigma_i^{TC} - 1)/\sigma_i^{TC}} \right)^{\sigma_i^{TC} / (\sigma_i^{TC} - 1)} \quad (5)$$

Dans ce cas,  $\sigma_i^{TC}$  représente l'élasticité de substitution et  $\gamma_{i,l,m}^{TC}$  les coefficients techniques indiquant comment les déplacements des ménages associés à chaque bien sont distribués en fonction des différents modes et liens possibles dans les données de référence qui servent au calibrage du modèle.

La location par les ménages de leur dotation de facteur est modélisée d'une manière similaire. Nous partons du principe que les services de transport ne sont pas nécessaires à la fourniture de capital aux entreprises. Cependant, pour fournir  $H$  unités de travail, l'agent doit utiliser des services de transport,  $Q^{TH}$  (par exemple pour des trajets domicile-travail). De ce fait, l'offre globale de travail ( $\tilde{H}$ ) est modélisée comme une fonction CES composite, dotée d'une élasticité  $\sigma^H$  et de coefficients  $\beta^{TH}$  et  $\beta^H$  :

$$\tilde{H} = \left( \beta^{TH} (Q^{TH})^{(\sigma^H - 1)/\sigma^H} + \beta^H H^{(\sigma^H - 1)/\sigma^H} \right)^{\sigma^H / (\sigma^H - 1)} \quad (6)$$

Comme pour les déplacements des ménages, nous modélisons  $Q^{TH}$  comme une fonction CES composite des déplacements domicile-travail ( $q_{l,m}^{TH}$ ) pour chaque maillon du réseau et mode de transport, avec une élasticité  $\sigma^{TH}$  et des coefficients modes-liens  $\gamma_{l,m}^{TH}$  :

$$Q^{TH} = \left( \sum_l \sum_m \gamma_{l,m}^{TH} (q_{l,m}^{TH})^{(\sigma^{TH}-1)/\sigma^{TH}} \right)^{\sigma^{TH}/(\sigma^{TH}-1)} \quad (7)$$

La contrainte budgétaire de l'agent représentatif suppose que la valeur de la consommation aux prix de détail ( $\tilde{P}_i$ ) tire le revenu de la location du facteur :

$$\sum_i \tilde{P}_i \tilde{C}_i \leq \theta H + rK, \quad (8)$$

où  $\theta$  note l'utilité marginale du temps – c'est-à-dire le salaire net du coût marginal des déplacements domicile-travail –, et  $r$  le taux de location du capital. La contrainte temporelle de l'agent suppose que les dépenses totales de temps consacré aux déplacements à des fins de consommation et de trajets domicile-travail (total pour tous les maillons du réseau et pour tous les modes de transport), plus le temps de travail et de loisir, exploitent pleinement la dotation en temps de l'agent, représentée par le symbole  $\bar{T}$  :

$$\sum_l \sum_m \tau_{l,m} \left( \sum_i q_{i,l,m}^{TC} + q_{l,m}^{TL} \right) + H + \Phi \leq \bar{T}. \quad (9)$$

La variable clé de cette expression est  $\tau_{l,m}$ , qui représente le temps de trajet moyen sur chaque segment du réseau, qui reflète par (1) et (2) la tension entre le flux total de déplacements sur ce segment et sa capacité.

L'organisation de la production est représentée par les arborescences B et C de la Figure 1. Dans l'arborescence B, la production de chacune des entreprises hors transport  $j$  ( $Y_j$ ) est modélisée à l'aide d'une fonction CES de production définie par les contributions des biens intermédiaires ( $\tilde{X}_{i,j}$ ), du travail ( $\tilde{h}_j$ ) et du capital ( $k_j$ ) :

$$Y_j = \left( \sum_i \delta_{i,j}^{NT} \tilde{X}_{i,j}^{(\sigma_j^{NT}-1)/\sigma_j^{NT}} + \delta_{H,j}^{NT} \tilde{h}_j^{(\sigma_j^{NT}-1)/\sigma_j^{NT}} + \delta_{K,j}^{NT} k_j^{(\sigma_j^{NT}-1)/\sigma_j^{NT}} \right)^{\sigma_j^{NT}/(\sigma_j^{NT}-1)}, \quad (10)$$

avec une élasticité de substitution  $\sigma_j^{NT}$  et des paramètres de distribution  $\delta^{NT}$ . Comme pour les ménages, l'offre de marchandises induit une demande dérivée de services de transport. Nous supposons que la livraison de  $\chi_i^{TF}$  unités de marchandises  $i$  aux utilisateurs intermédiaires et finaux nécessite une unité de services de transport de fret ( $Q_i^{TF}$ ). En conséquence, l'offre de marchandises hors transport s'exprime comme une fonction Léontieff composite des biens produits et du transport :

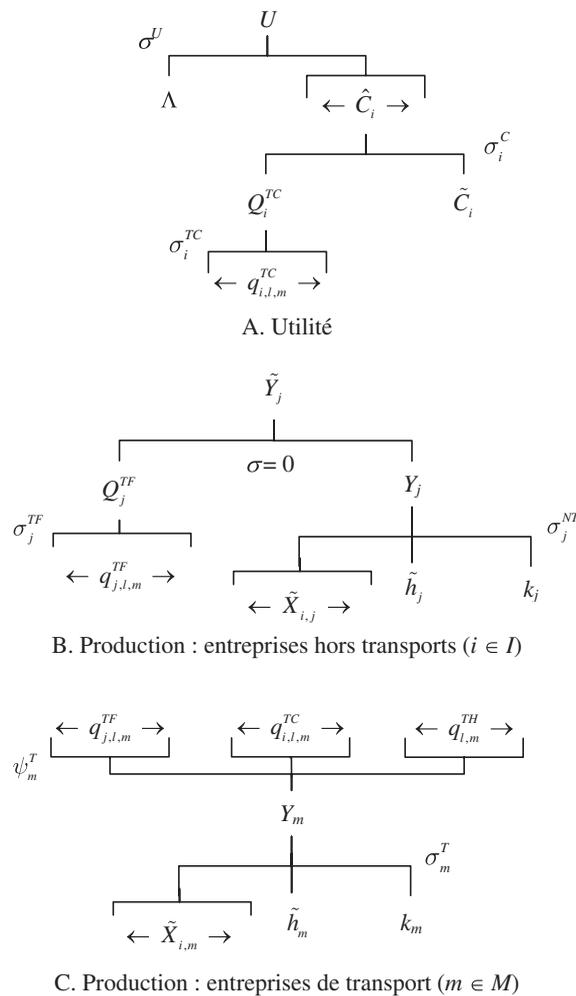
$$\tilde{Y}_i = \min \left( \chi_i^{TF} Q_i^{TF}, Y_i \right). \quad (11)$$

En retour, le transport de fret constitue une fonction CES des trajets de livraison ( $q_{j,l,m}^{TF}$ ) par maillon du réseau et par mode de déplacement :

$$Q_j^{TF} = \left( \sum_l \sum_m \gamma_{j,l,m}^{TF} (q_{j,l,m}^{TF})^{(\sigma_j^{TF}-1)/\sigma_j^{TF}} \right)^{\sigma_j^{TF}/(\sigma_j^{TF}-1)}, \quad (12)$$

avec une élasticité  $\sigma_j^{TF}$  et des coefficients modes-liens  $\gamma_{j,l,m}^{TF}$ .

Figure 1. Fonction CES d'utilité emboîtée et fonctions de production utilisées dans le modèle



Notes :  $U$  = utilité ;  $\Lambda$  = loisirs ;  $\hat{C}_i$  = composite biens de consommation – mobilité à des fins d'achat ;  $\tilde{C}_i$  = composite biens de consommation – acheminement de fret ;  $Q_i^{TC}$  = mobilité à des fins d'achat ;  $\sigma^U$ ,  $\sigma_i^C$  = élasticités de substitution biens-loisirs et transports-biens ;  $\tilde{Y}_j$  = biens hors transports livrés ;  $Y_j$  = production de biens hors transports ;  $Y_m$  = production de services de transport ;  $Q_j^{TF}$  = transport de fret ;  $\tilde{X}_{i,j}$ ,  $\tilde{X}_{i,m}$  = facteurs de production intermédiaires ;  $\tilde{h}_j$ ,  $\tilde{h}_m$  = facteur travail ;  $k_j$ ,  $k_m$  = facteur capital ;  $\sigma_j^{NT}$ ,  $\sigma_m^T$  = élasticité de substitution du facteur de production de l'entreprise ;  $q_{j,l,m}^{TF}$ ,  $q_{i,l,m}^{TC}$ ,  $q_{l,m}^{TH}$  = déplacements de fret, à des fins d'achats et domicile-travail ;  $\psi_m^T$  = élasticité de transformation des services de transport en déplacements ;  $\sigma_j^{TF}$ ,  $\sigma_i^{TC}$ ,  $\sigma^{TH}$  = élasticités de substitution mode-maillon des déplacements à fins d'achat et domicile-travail.

La fonction de production des services de transport  $m$  est représentée par l'arborescence C, et elle est globalement la même que pour les marchandises hors transports :

$$Y_m = \left( \sum_i \delta_{i,m}^T \tilde{X}_{i,m}^{(\sigma_m^T-1)/\sigma_m^T} + \delta_{H,m}^T \tilde{h}_m^{(\sigma_m^T-1)/\sigma_m^T} + \delta_{K,m}^T k_m^{(\sigma_m^T-1)/\sigma_m^T} \right)^{\sigma_m^T/(\sigma_m^T-1)}, \quad (13)$$

avec une élasticité de substitution  $\sigma_m^T$  et des paramètres de distribution  $\delta^T$ . Cependant, pour assurer les conversions entre la production des entreprises de transport et les déplacements nécessaires pour transporter les passagers et le fret sur chaque segment du réseau, nous utilisons la formule CET suivante, avec une élasticité de transformation  $\psi_m^T$  et des paramètres de distribution  $\mu$  :

$$Y_m = \left( \sum_l Z_{l,m}^{-1} \cdot \left( \sum_j \mu_{j,l,m}^{TF} (q_{j,l,m}^{TF})^{(\psi_m^T-1)/\psi_m^T} + \sum_i \mu_{i,l,m}^{TC} (q_{i,l,m}^{TC})^{(\psi_m^T-1)/\psi_m^T} + \mu_{l,m}^{TH} (q_{l,m}^{TH})^{(\psi_m^T-1)/\psi_m^T} \right) \right)^{\psi_m^T/(\psi_m^T-1)} \quad (14)$$

La variable  $Z_{l,m}$  est particulièrement importante, en cela qu'elle représente un frein à la productivité propre à un maillon du réseau, fonction du temps de trajet moyen de chaque maillon en (2), et qui vise à rendre compte de l'effet négatif des encombrements sur la capacité des entreprises de transport à transformer la production de services en mouvements de biens et de passagers. De ce fait, plus un lien donné du réseau sera encombré, plus le nombre d'unités de  $Y_m$  nécessaires pour générer un déplacement supplémentaire sur celui-ci sera important, réduisant ainsi la productivité moyenne et marginale des intrants à (13).

Le modèle s'achève par l'expression de conditions de transparence spécifiques de l'offre de biens composites hors transports :

$$\tilde{Y}_i = \sum_j \tilde{X}_{i,j} + \tilde{C}_i, \quad (15)$$

et par la dotation en facteur primaire de l'agent représentatif :

$$H = \sum_j \tilde{h}_j + \sum_m \tilde{h}_m, \quad (16)$$

$$K = \sum_j k_j + \sum_m k_m. \quad (17)$$

En Annexe au présent document, nous proposons une étude mathématique détaillée de la manière dont les éléments qui précèdent peuvent être utilisés pour la mise au point d'un modèle informatisé d'équilibre général opérationnel. L'hypothèse d'un équilibre concurrentiel de Walras nous permet d'exprimer les liens de production et d'agrégation des équations (3) à (7) et (10) à (14) selon leurs fonctions de coûts duales et les fonctions conditionnelles associées de demande de facteur de production. Ces dernières peuvent ensuite être remplacées par les contraintes de l'équilibre offre/demande (6), (8), (9) et (15) à (17) pour engendrer un système d'équations non linéaires ( $\Xi$ ) pour les prix des biens et des facteurs, les degrés d'activité des entreprises et le niveau de revenu de l'agent représentatif. Il en résulte la correspondance walrassienne d'excès de demande de l'économie.

Notre approche présente un double avantage. Premièrement, du côté du consommateur, la variable de prix représentée par le multiplicateur de Lagrange sur l'équation (9) constitue la valeur endogène de temps qui tient pleinement compte, non seulement des canaux par lesquels se manifestent les effets des encombrements,

mais également des interactions d'équilibre général entre ces différents effets. Deuxièmement, tant dans l'équation (9) que dans les fonctions de coûts pour les producteurs de transports (soit la dualité de l'équation (14)), les encombrements jouent le rôle d'un vecteur d'impôts sur les déplacements différenciés et propres à chaque maillon du réseau. Ce point est très utile en cela qu'il nous permet de simuler les encombrements comme un impôt endogène non linéaire dont le montant sera déterminé par les volumes de déplacements conformément aux équations (1) et (2).

## 5.2. Données et calibrage

Une solution numérique du modèle nécessite la fixation de valeurs pour les paramètres de la correspondance d'excès de demande,  $\Xi$ . Cette procédure, appelée calibrage, devrait se révéler particulièrement délicate en cela qu'elle exige l'intégration de données économiques et de transport souvent incommensurables.

Le calibrage des composantes purement macroéconomiques et non liées aux transports du modèle informatisé d'équilibre général représente une tâche relativement simple, qui suppose la sélection de valeurs pour les élasticités  $\sigma^U$ ,  $\sigma_j^{NT}$  et  $\sigma_m^T$  sur la base d'estimations empiriques ainsi que le calcul de valeurs pour les coefficients  $\alpha_i$ ,  $\alpha_\lambda$ ,  $\delta^{NT}$  et  $\delta^T$  à partir d'une matrice de comptabilité sociale à l'échelle nationale ou régionale (pour davantage de détails, voir par exemple Sue Wing, 2004.) Nous prévoyons qu'il sera un peu plus difficile de trouver des estimations économétriques pour les valeurs des élasticités de substitution  $\sigma_i^C$  – ou pour les calibrer à l'aide d'études empiriques – ou de déduire des données des marges de transport de fret les valeurs des coefficients  $\chi_j^{TF}$ ,  $\beta_i^{TC}$  et  $\beta_i^C$ . Enfin, étant donné qu'il n'existe pas d'estimations officielles pour les élasticités  $\sigma_i^{TC}$ ,  $\sigma_j^{TF}$ ,  $\sigma_i^{TC}$ ,  $\psi_m^T$ , la mise au point des données et des procédures économétriques d'estimation de ces paramètres supposeront sans doute de grands efforts. Une manière sommaire de procéder consisterait à établir le modèle à partir des valeurs de la fourchette prise pour hypothèse par Parry et Bento (2001, 2002) puis de procéder à une analyse de sensibilité.

Le calibrage des coefficients  $\gamma_{j,l,m}^{TF}$ ,  $\gamma_{i,l,m}^{TC}$ ,  $\gamma_{l,m}^{TH}$ ,  $\mu_{j,l,m}^{TF}$ ,  $\mu_{i,l,m}^{TC}$  et  $\mu_{l,m}^{TH}$  dans les fonctions d'agrégation et de transformation des déplacements sera sans doute une entreprise de grande ampleur. La principale difficulté consiste à définir la topologie du réseau de transport et les flux de circulation associés à l'échelle géographique pour laquelle il existe des statistiques économiques intersectorielles officielles. Bien que les résultats des enquêtes sur les flux de déplacement domicile-travail et de transport de fret soient aisément disponibles pour les zones de statistiques urbaines, les chiffres relatifs aux facteurs de production et aux biens produits sont rarement répertoriés à une si petite échelle spatiale. Pour l'extrême opposé, alors qu'il est aisé de construire un modèle informatisé d'équilibre général global à partir d'une matrice de comptabilité sociale élaborée sur la base des tableaux de production et d'emploi du compte satellite des transports (Fang *et al.*, 2000), le mode de représentation des principaux segments encombrés du réseau à une échelle totale aussi grande n'a rien d'évident pour les déplacements de surface tels que les trajets domicile-travail ou destinés à effectuer des achats, qui contribuent pourtant fortement aux encombrements.

De ce fait, à part la question normative consistant à savoir quelle serait l'échelle géographique la mieux appropriée à la définition de notre modèle, les contraintes statistiques se traduisent par l'obligation pratique de structurer une représentation réduite du réseau de transport, de manière à ce qu'il soit suffisamment simple pour calibrer les paramètres  $\gamma$  et  $\mu$  et comparable à une matrice de comptabilité sociale régionale. Au stade actuel de ces travaux, la source de statistiques économiques la plus prometteuse serait apparemment les matrices de comptabilité sociale à l'échelle du comté mises au point par IMPLAN, moyennes des zones de statistique urbaines couvrant les principaux corridors de transport de l'est des États-Unis.

## 6. DISCUSSION ET RÉSUMÉ

Les infrastructures de transports constituent l'une des contributions du secteur public à l'économie privée les plus visibles, les plus essentielles et les plus coûteuses. Cependant, les décisions portant sur le montant et l'affectation des investissements dans les infrastructures de transport doivent se prendre aujourd'hui sur la base d'informations incomplètes quant à leurs effets économiques. Les outils analytiques sont limités aux études à l'échelle microéconomique, qui ne rendent pas nécessairement compte de l'ensemble des avantages économiques induits par un projet ou par un programme, ou à l'échelle macroéconomique, qui couvrent un champ trop large pour renseigner sur les avantages relatifs de certains projets ou programmes donnés. Cette situation requiert des outils d'analyse dits de niveau « mésométrique », capables de réaliser des évaluations d'impacts à la fois complètes et de représenter des extensions spécifiques de capacités d'infrastructure, d'après les trois critères que nous définissons en introduction. Le présent document contribue à la mise au point de tels outils en fixant un modèle informatisé d'équilibre général spécifiquement conçu pour évaluer les effets sur l'ensemble de l'économie des investissements dans les infrastructures de transport.

Le modèle décrit plus haut s'inspire des rares travaux concernant l'équilibre général informatisé appliqué aux infrastructures de transport, et en particulier des budgets temps des ménages de Parry et Bento (2001, 2002). Il dépasse les modèles existants tant par sa spécificité technique que par sa portée générale. Il précise un ensemble de demandes dérivées de services de transport émanant des activités de production, de consommation et d'offre de travail. Il représente les infrastructures de transport comme un ensemble de combinaisons avec capacités entre les différents modes de transport et maillons du réseau sur lesquels des flux sont répartis et les encombrements sont modélisés comme des allongements du temps de trajet. En intégrant de manière explicite le temps de trajet dans la fixation des utilités des ménages et des prix et quantités de biens produits dans l'économie, notre modèle assimile le phénomène d'encombrements reposant sur une définition complète et endogène de la valeur du temps.

Les modèles informatisés d'équilibre général existants conçus pour l'analyse des infrastructures de transport peuvent pour l'essentiel être décrits comme des maquettes, à savoir des modèles simplifiés ou réduits visant à formuler des estimations approximatives des ampleurs relatives ou comme des étapes vers la création de modèles plus complets. À l'inverse, le modèle élaboré plus haut se veut un outil pratique d'analyse politique. Avant qu'il ne soit opérationnel, de nombreux obstacles doivent cependant encore être surmontés, tels que la définition d'une échelle géographique appropriée à sa mise en œuvre, le degré de détail idoine pour l'ensemble de combinaisons entre modes et maillons et la fixation des données et paramètres de calibrage adaptés.

La question qui se pose naturellement consiste à se demander si tout cela mérite tant d'efforts. Dans une certaine mesure, cela revient à savoir si les avantages économiques au sens large reflétés par le modèle informatisé d'équilibre général sont d'une ampleur significative par rapport aux effets plus directs qui ressortent de l'analyse coûts-avantages. Cependant, si l'on va plus loin que la simple conclusion de l'analyse coûts-avantages, le modèle informatisé d'équilibre général engendre un ensemble d'informations impossibles à obtenir à partir des modèles existants, comme par exemple si une extension des capacités de transport profite davantage aux entreprises ou aux ménages, si les ménages en profitent majoritairement pour leurs activités de consommation ou si certains secteurs en bénéficient davantage que d'autres. De telles informations peuvent servir à évaluer si les objectifs spécifiques fixés pour un projet par les décideurs politiques sont susceptibles

d'être atteints. De même, le modèle informatisé d'équilibre général est particulièrement bien adapté à une évaluation de l'impact des programmes d'infrastructure, car il permet de modéliser simultanément la mise en œuvre de deux extensions de capacités ou plus. Cette fonctionnalité sera utile pour l'identification de complémentarités entre les projets, par exemple pour savoir si les avantages des projets A et B mis en œuvre simultanément dépassent la somme de ces avantages pour une application dissociée.

Enfin, la valeur d'un modèle tel que celui que nous avons élaboré réside dans sa révélation d'un ensemble plausible d'interactions à l'échelle économique, déclenchées par l'amélioration des infrastructures de transport. En d'autres termes, il s'agit d'une tentative de dépasser les approches omettant le déroulement des processus ou axées uniquement sur le résultat final des modèles politiques au profit d'une méthode visant à expliquer, plutôt qu'à simplement exposer, les effets économiques. Bien sûr, la mise au jour des mécanismes sous-jacents ouvre la porte à des critiques reposant sur les hypothèses sous-jacentes, en particulier en ce qui concerne les imperfections du marché. En outre, nous admettons que le modèle laisse de côté un certain nombre d'effets dynamiques de développement. Toutefois, nous pensons que l'élaboration et le calibrage de notre modèle constituent une étape utile vers une meilleure compréhension des conséquences des infrastructures de transport pour l'ensemble de l'économie.

## 7. ANNEXE : PRÉCISIONS SUR LA MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE

L'équilibre général de Walras existe lorsque le prix des biens est égal à leur coût marginal de production, que les entreprises n'enregistrent aucun bénéfice, qu'il n'existe aucun excès de demande pour les biens et les facteurs et que les revenus du consommateur sont identiques à ses dépenses. Ces conditions représentent la base des modèles informatisés d'équilibre général sous une forme complémentaire, qui définissent l'économie comme un vecteur de profit zéro, de transparence du marché, d'équilibre des revenus et d'équations auxiliaires. Chaque équation est rattachée à une variable duale associée avec laquelle elle présente un relâchement complémentaire (voir par exemple Rutherford, 1995, et Sue Wing, 2004) :

1. *Conditions de profit zéro pour les entreprises et pour les ménages.* Ces conditions précisent l'équilibre entre les fonctions de prix des biens et de coûts unitaires de l'entreprise, et entre l'utilité marginale du revenu et la fonction globale de dépense. Elles sont complémentaires des niveaux d'activité des entreprises et du niveau d'utilité de l'agent représentatif.
2. *Conditions de transparence du marché pour les biens et pour les facteurs.* Elles établissent l'équilibre entre la demande totale de biens et les facteurs – fonction des prix et des niveaux d'activité, et de leur offre totale – généralement indiqué par le niveau d'activité des entreprises et par l'allocation des ménages aux facteurs. Elles sont complémentaires des prix des biens et des facteurs.
3. *Conditions d'équilibre des revenus.* Elles décrivent l'équilibre entre la valeur des dépenses des ménages et celle de leur revenu, et sont complémentaires des niveaux de revenu des ménages.
4. *Équations auxiliaires.* Elles représentent généralement une forme de contrainte sur l'économie qui serait fonction à la fois d'une variable auxiliaire et d'autres variables endogènes, qui doivent être résolues parallèlement aux autres variables. Elles sont complémentaires de la variable auxiliaire.

Nous utiliserons par la suite le symbole  $\perp$  pour représenter ces relations complémentaires.

### 7.1. Conditions de profit zéro et fonctions de demande associées

Comme pour les exemples précédents, nous commençons par les ménages présents dans l'économie. Reformuler le problème de maximisation de l'utilité de l'agent représentatif sous forme de minimisation duale des dépenses nous permet de résoudre la fonction de dépense unitaire,  $\varepsilon$ , duale de l'équation (3) :

$$\varepsilon = \left( \sum_i \alpha_i^{\sigma^U} \hat{P}_i^{1-\sigma^U} + \alpha_{\Phi}^{\sigma^U} \theta^{1-\sigma^U} \right)^{1/(1-\sigma^U)}, \quad \perp U \quad (18)$$

avec  $\hat{P}_i$  représentant le prix de la consommation totale  $i^{\text{th}}$  de biens et de services de transport et  $\theta$  la valeur temporelle. Cette expression peut être considérée comme une condition de profit zéro pour la « production » d'un bien de consommation, dont l'utilité totale représente la variable d'activité complémentaire. Selon le lemme de Shepard, les dérivées de la condition de profit zéro relative aux prix des facteurs de production donne la demande conditionnelle de ces derniers. De ce fait, la demande finale de biens et de loisirs s'exprime comme suit :

$$\hat{C}_i = \alpha_i^{\sigma^U} \hat{P}_i^{-\sigma^U} \varepsilon^{\sigma^U} U, \quad (19)$$

$$\Phi = \alpha_{\Phi}^{\sigma^U} \theta^{-\sigma^U} \varepsilon^{\sigma^U} U, \quad (20)$$

La minimisation des coûts dans l'expression globale des services de transport et des biens physiques de l'équation (4) se traduit par la condition de profit zéro ci-après, qui est la fonction de coût unitaire pour  $\hat{C}_i$  :

$$\hat{P}_i = \left( (\beta_i^{TC})^{\sigma^C} (P_i^{TC})^{1-\sigma^C} + (\beta_i^C)^{\sigma^C} \tilde{P}_i^{1-\sigma^C} \right)^{1/(1-\sigma^C)}, \quad \perp \hat{C}_i \quad (21)$$

avec  $P_i^{TC}$  et  $\tilde{P}_i$  représentant les prix de la mobilité à but d'achat pour le consommateur et les ventes finales pour le bien  $i$ . La demande conditionnelle de ces intrants est représentée par les équations suivantes :

$$Q_i^{TC} = (\beta_i^{TC})^{\sigma^C} (P_i^{TC})^{-\sigma^C} \hat{P}_i^{\sigma^C} \hat{C}_i, \quad (22)$$

$$\tilde{C}_i = (\beta_i^C)^{\sigma^C} (\tilde{P}_i)^{-\sigma^C} \hat{P}_i^{\sigma^C} \hat{C}_i. \quad (23)$$

De même, la fonction de coût unitaire issue de l'agrégation minimisant les coûts des heures de travail et de déplacement domicile-travail pour produire le travail fourni en (6) ressort comme :

$$\tilde{w} = \left( (\beta^{TH})^{\sigma^H} (P^{TH})^{1-\sigma^H} + (\beta^H)^{\sigma^H} \theta^{1-\sigma^H} \right)^{1/(1-\sigma^H)}, \quad \perp \tilde{H} \quad (24)$$

avec  $\tilde{w}$  représentant le salaire et  $P^{TH}$  le coût marginal des déplacements domicile-travail. La demande conditionnelle de déplacements et de travail total est ensuite représentée comme suit :

$$Q^{TH} = (\beta^{TH})^{\sigma^H} (P^{TH})^{-\sigma^H} \tilde{w}^{\sigma^H} \tilde{H}, \quad (25)$$

$$H = (\beta^H)^{\sigma^H} \theta^{-\sigma^H} \tilde{w}^{\sigma^H} \tilde{H}. \quad (26)$$

Les conditions de profit zéro correspondant à l'allocation minimisant les coûts des déplacements par mode et par maillon du réseau des équations (5) et (7) sont

$$P_i^{TC} = \left( \sum_l \sum_m (\gamma_{i,l,m}^{TC})^{\sigma_i^{TC}} (p_{i,l,m}^{TC})^{1-\sigma_i^{TC}} \right)^{1/(1-\sigma_i^{TC})}, \quad \perp Q_i^{TC} \quad (27)$$

$$P^{TH} = \left( \sum_l \sum_m (\gamma_{l,m}^{TH})^{\sigma^{TH}} (p_{l,m}^{TH})^{1-\sigma^{TH}} \right)^{1/(1-\sigma^{TH})}, \quad \perp Q^{TH} \quad (28)$$

avec  $p_{i,l,m}^{TC}$  et  $p_{l,m}^{TH}$  représentant les coûts marginaux des déplacements sur un couple mode-maillon donné induit par un agent représentatif pour, respectivement, consommer le bien  $i$  et se rendre au travail. La demande conditionnelle associée de déplacement par maillon du réseau, par mode de déplacement et par bien se note :

$$q_{i,l,m}^{TC} = (\gamma_{i,l,m}^{TC})^{\sigma_i^{TC}} (p_{i,l,m}^{TC})^{-\sigma_i^{TC}} (P_i^{TC})^{\sigma_i^{TC}} Q_i^{TC}, \quad (29)$$

$$q_{l,m}^{TH} = (\gamma_{l,m}^{TH})^{\sigma^{TH}} (p_{l,m}^{TH})^{-\sigma^{TH}} (P^{TH})^{\sigma^{TH}} Q^{TH}. \quad (30)$$

Si l'on s'intéresse à présent aux entreprises de l'économie considérée, la minimisation des coûts par producteur de biens et de services hors transports de l'équation (10) aboutit à la condition de profit zéro suivante :

$$P_j = \left( \sum_i (\delta_{i,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} \tilde{p}_i^{1-\sigma_j^{NT}} + (\delta_{H,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} \tilde{w}^{1-\sigma_j^{NT}} + (\delta_{K,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} r^{1-\sigma_j^{NT}} \right)^{1/(1-\sigma_j^{NT})}, \quad \perp Y_j \quad (31)$$

avec  $P_j$  représentant le prix à la production de chaque bien ou service hors transport et  $r$  le taux de location du capital. La condition de profit zéro pour les entreprises de logistique de l'équation (13) prend une forme légèrement différente en raison de la caractérisation de la production dans la fonction à élasticité constante de substitution. En particulier, les services de transport ne sont pas négociés et ils n'ont donc pas de prix explicite au sein du modèle. Pour les producteurs, le revenu marginal issu de l'allocation de déplacement à but de maximisation des revenus de l'équation (14) est ainsi égal au coût marginal de la production de services de transport visant à minimiser les coûts de l'identité (13) :

$$\begin{aligned} & \sum_l \left( \sum_j (\mu_{j,l,m}^{TF})^{\psi_m^T} (Z_{l,m} p_{j,l,m}^{TF})^{1-\psi_m^T} + \sum_i (\mu_{i,l,m}^{TC})^{\psi_m^T} (Z_{l,m} p_{i,l,m}^{TC})^{1-\psi_m^T} + (\mu_{l,m}^{TH})^{\psi_m^T} (Z_{l,m} p_{l,m}^{TH})^{1-\psi_m^T} \right)^{1/(1-\psi_m^T)} \\ & = \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{p}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{1/(1-\sigma_m^T)} \quad \perp Y_m \quad (32) \end{aligned}$$

Le membre de gauche de l'équation ci-dessus démontre clairement que l'impact des encombrements est similaire à un impôt sur les déplacements qui varierait d'un maillon à l'autre du réseau. Ce résultat se révèle très utile, puisqu'il permet la modélisation du niveau d'encombrement,  $Z_{l,m}$ , en tant qu'impôt endogène non linéaire. Nous revenons en détail sur ce point plus bas.

L'application du lemme de Shepard aux membres de droite des équations (31) et (32) permet d'exprimer les demandes conditionnelles associées des facteurs de production que sont les biens intermédiaires, le travail et le capital :

$$\tilde{X}_{i,j} = (\delta_{i,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} \left( \tilde{P}_i \right)^{-\sigma_j^{NT}} (P_j)^{\sigma_j^{NT}} Y_j, \quad (33)$$

$$\tilde{X}_{i,m} = (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \left( \tilde{P}_i \right)^{-\sigma_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\sigma_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m, \quad (34)$$

$$\tilde{h}_j = (\delta_{H,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} \tilde{w}^{-\sigma_j^{NT}} (P_j)^{\sigma_j^{NT}} Y_j, \quad (35)$$

$$\tilde{h}_m = (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{-\sigma_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\sigma_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m, \quad (36)$$

$$k_j = (\delta_{K,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} r^{-\sigma_j^{NT}} (P_j)^{\sigma_j^{NT}} Y_j, \quad (37)$$

$$k_m = (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{-\sigma_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\sigma_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m. \quad (38)$$

De même, les offres conditionnelles associées de déplacements sont obtenues à partir de l'application du lemme de Shepard au membre de gauche de l'équation (32) :

$$q_{j,l,m}^{TF} = Z_{l,m}^{1-\psi_m^T} (\mu_{j,l,m}^{TF})^{\psi_m^T} (P_{j,l,m}^{TF})^{-\psi_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\psi_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m, \quad (39)$$

$$q_{i,l,m}^{TC} = Z_{l,m}^{1-\psi_m^T} (\mu_{i,l,m}^{TC})^{\psi_m^T} (P_{i,l,m}^{TC})^{-\psi_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\psi_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m, \quad (40)$$

$$q_{l,m}^{TH} = Z_{l,m}^{1-\psi_m^T} (\mu_{l,m}^{TH})^{\psi_m^T} (P_{l,m}^{TH})^{-\psi_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\psi_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m. \quad (41)$$

La condition de profit zéro correspondant à l'allocation de transport de fret minimisant les coûts par mode et par maillon de l'équation (12) ressort comme suit :

$$P_j^{TF} = \left( \sum_l \sum_m (\gamma_{j,l,m}^{TF})^{\sigma_j^{TF}} (P_{j,l,m}^{TF})^{1-\sigma_j^{TF}} \right)^{1/(1-\sigma_j^{TF})}, \quad \perp Q_j^{TF} \quad (42)$$

Les demandes conditionnelles associées de transport de fret par maillon, par mode et par bien s'expriment ainsi :

$$q_{j,l,m}^{TF} = (\gamma_{j,l,m}^{TF})^{\sigma_j^{TF}} (P_{j,l,m}^{TF})^{-\sigma_j^{TF}} (P_j^{TF})^{\sigma_j^{TF}} Q_j^{TF}. \quad (43)$$

Enfin, sur la base de l'équation (11), le prix à la consommation des biens hors transports,  $\tilde{P}_i$ , est exprimé par la condition de profit zéro ci-après :

$$\tilde{P}_i = P_i^{TF} / \chi_i^{TF} + P_i, \quad \perp Y_i \quad (44)$$

dont le premier membre représente la marge de transport. Les demandes associées sont les suivantes :

$$Q_i^{TF} = \tilde{Y}_i / \chi_i^{TF}, \quad (45)$$

$$Y_i = \tilde{Y}_i. \quad (46)$$

## 7.2. Conditions de transparence du marché

Si l'on substitue aux équations (35), (36) et (46) les équations (16) et (37), (38) et que l'on remplace l'équation (46) par la (17), on obtient les rapports offre/demande suivants pour le travail et pour le capital :

$$\begin{aligned} \tilde{H} = & \sum_j (\delta_{H,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} \tilde{w}^{-\sigma_j^{NT}} (P_j)^{\sigma_j^{NT}} Y_j \\ & + \sum_m (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{-\sigma_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\sigma_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m \cdot \perp \tilde{w} \quad (47) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K = & \sum_j (\delta_{K,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} r^{-\sigma_j^{NT}} (P_j)^{\sigma_j^{NT}} Y_j \\ & + \sum_m (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{-\sigma_m^T} \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\sigma_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m \cdot \perp r \quad (48) \end{aligned}$$

Remplacer les équations (33), (34) et (46) par la (15) donne la condition de transparence du marché pour les biens hors transport livrés :

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_i = & \sum_j (\delta_{i,j}^{NT})^{\sigma_j^{NT}} \left( \tilde{P}_i \right)^{-\sigma_j^{NT}} (P_j)^{\sigma_j^{NT}} Y_j \\ & + \sum_m (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \left( \tilde{P}_i \right)^{-\sigma_m^T} (P_m)^{\sigma_m^T} Y_m + (\beta_i^C)^{\sigma_i^U} \left( \tilde{P}_i \right)^{-\sigma_i^U} \hat{P}_i^{\sigma_i^U} \hat{C}_i, \quad \perp \tilde{P}_i \quad (49) \end{aligned}$$

tandis que l'équation (46) donne l'identité correspondante pour la production des entreprises hors transports :

$$Y_i = \tilde{Y}_i \quad \perp P_i \quad (46')$$

Nous notons qu'il n'existe pas de condition similaire pour les services produits par les entreprises de transport ( $Y_m$ ), car nous partons de l'hypothèse qu'il n'y a que des marchés de déplacements.

L'équilibre entre l'offre et la demande d'utilisation finale de transport total à des fins d'acquisition de biens par les ménages est exprimé par l'équation (19), et il est complémentaire du prix composite final du bien :

$$\hat{C}_i = \alpha_i^{\sigma^U} \hat{P}_i^{-\sigma^U} \varepsilon^{\sigma^U} U, \quad \perp \hat{P}_i \quad (19')$$

ce qui nous permet d'exprimer des conditions analogues pour les agrégats de mobilité des ménages aux fins d'achat, des déplacements domicile-travail et du transport de fret, à travers les équations (22), (25) et (45) :

$$Q_i^{TC} = (\beta_i^{TC})^{\sigma^C} (P_i^{TC})^{-\sigma^C} \hat{P}_i^{\sigma^C} \hat{C}_i, \quad \perp P_i^{TC} \quad (22')$$

$$Q^{TH} = (\beta^{TH})^{\sigma^H} (P^{TH})^{-\sigma^H} \tilde{w}^{\sigma^H} \tilde{H}, \quad \perp P^{TH} \quad (25')$$

$$Q_j^{TF} = \tilde{Y}_j / \chi_j^{TF}. \quad \perp P_j^{TF} \quad (45')$$

Les équilibres entre l'offre et la demande de déplacements, complémentaires des coûts marginaux de déplacement propres à chaque mode de transport et à chaque maillon du réseau, sont obtenus en égalisant les équations (27) et (39), (28) et (40), et (43) et (41) :

$$\begin{aligned} Z_{l,m}^{1-\psi_m^T} (\mu_{j,l,m}^{TF})^{\psi_m^T} (P_{j,l,m}^{TF})^{-\psi_m^T} & \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\psi_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m \\ & = (\gamma_{j,l,m}^{TF})^{\sigma_j^{TF}} (p_{j,l,m}^{TF})^{-\sigma_j^{TF}} (P_j^{TF})^{\sigma_j^{TF}} Q_j^{TF}, \quad \perp p_{j,l,m}^{TF} \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned} Z_{l,m}^{1-\psi_m^T} (\mu_{i,l,m}^{TC})^{\psi_m^T} (P_{i,l,m}^{TC})^{-\psi_m^T} & \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\psi_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m \\ & = (\gamma_{i,l,m}^{TC})^{\sigma_i^{TC}} (p_{i,l,m}^{TC})^{-\sigma_i^{TC}} (P_i^{TC})^{\sigma_i^{TC}} Q_i^{TC}, \quad \perp p_{i,l,m}^{TC} \end{aligned} \quad (51)$$

$$\begin{aligned} Z_{l,m}^{1-\psi_m^T} (\mu_{l,m}^{TH})^{\psi_m^T} (P_{l,m}^{TH})^{-\psi_m^T} & \left( \sum_i (\delta_{i,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{P}_i^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{H,m}^T)^{\sigma_m^T} \tilde{w}^{1-\sigma_m^T} + (\delta_{K,m}^T)^{\sigma_m^T} r^{1-\sigma_m^T} \right)^{\psi_m^T / (1-\sigma_m^T)} Y_m \\ & = (\gamma_{l,m}^{TH})^{\sigma^{TH}} (p_{l,m}^{TH})^{-\sigma^{TH}} (P^{TH})^{\sigma^{TH}} Q^{TH}. \quad \perp p_{l,m}^{TH} \end{aligned} \quad (52)$$

Une caractéristique particulièrement attrayante de ce modèle réside dans le fait que la valeur temporelle témoigne d'un relâchement complémentaire en ce qui concerne la contrainte du budget temps de l'agent représentatif. La condition associée de transparence du marché est obtenue en intégrant les équations (19), (29) et (30) dans l'équation (9) représentant la contrainte du budget temps de l'agent représentatif :

$$\sum_l \sum_m \tau_{l,m} \left( \sum_i \left( \gamma_{i,l,m}^{TC} \right)^{\sigma_i^{TC}} \left( p_{i,l,m}^{TC} \right)^{-\sigma_i^{TC}} \left( P_i^{TC} \right)^{\sigma_i^{TC}} Q_i^{TC} + \left( \gamma_{l,m}^{TH} \right)^{\sigma^{TH}} \left( p_{l,m}^{TH} \right)^{-\sigma^{TH}} \left( P^{TH} \right)^{\sigma^{TH}} Q^{TH} \right) + \left( \beta^H \right)^{\sigma^H} \theta^{-\sigma^H} \tilde{w}^{\sigma^H} \tilde{H} + \alpha_{\Phi}^{\sigma^U} \theta^{-\sigma^U} \varepsilon^{\sigma^U} U \leq \bar{T}. \quad \perp \theta \quad (53)$$

Étant donné que  $\theta$  représente le multiplicateur de Lagrange pour une contrainte qui prend en compte les réactions de prix, d'offre et de demande entièrement endogènes sur l'ensemble des marchés de l'économie (contrairement au transport uniquement), il représente la véritable valeur temporelle d'équilibre général.

La condition finale de transparence du marché est une équation substituable qui précise la quantité de « biens d'utilité » comme le rapport du revenu total de l'agent représentatif, noté  $\Omega$ , sur l'indice de dépense unitaire. Cette expression est complémentaire de la dépense unitaire :

$$U = \Omega / \varepsilon. \quad \perp \varepsilon \quad (54)$$

### 7.3. Conditions d'équilibre des revenus et variables auxiliaires

L'équilibre entre les revenus et les dépenses est défini comme la contrainte de budget financier de l'agent représentatif, (8), qui est complémentaire du revenu global :

$$\sum_i \tilde{P}_i \tilde{C}_i \leq \theta H + rK. \quad \perp \Omega \quad (8')$$

Les variables auxiliaires du modèle correspondent aux temps de déplacement moyens par mode et par maillon ( $\tau_{l,m}$ ) de l'équation (53) et au paramètre de pénalité des encombrements ( $Z_{l,m}$ ) des équations (32) et (50) à (52). En supposant que  $Z_{l,m}$  puisse être exprimé comme une fonction paramétrique de  $\tau_{l,m}$  (par exemple comme dans Mayeres et Proost, 1997), nous pouvons établir deux équations auxiliaires complémentaires de ces variables :

$$\tau_{l,m} = \tau_{l,m}^0 \left( 1 + 0.15 \frac{\left( \sum_i \left( q_{i,l,m}^{TC} + q_{i,l,m}^{TF} \right) + q_{l,m}^{TH} \right)^4}{\kappa_{l,m}} \right), \quad \perp \tau_{l,m} \quad (55)$$

$$Z_{l,m}(\tau_{l,m}). \quad \perp Z_{l,m} \quad (56)$$

### 7.4. Équilibre général sous forme complémentaire

Sachant ce qui précède, nous pouvons à présent déterminer l'équilibre général de l'économie comme suit :

- 3 + 5I + M équations de profit zéro (18), (21), (24), (27) à (28), (31) à (32), (42) et (44) en autant de variables d'activité inconnues ( $U, \hat{C}_i, \tilde{H}, Q_i^{TC}, Q^{TH}, Y_j, Y_m, \tilde{Y}_j, Q_j^{TF}$ ).

- $5 + 5I + (1 + 2I) (L \times M)$  équations d'équilibre des revenus (19'), (22'), (25'), (45') à (46') et (47) à (54), en autant de variables de prix inconnues ( $\hat{P}_i, P_i^{TC}, P_i^{TH}, P_j^{TF}, P_i, \tilde{w}, r, P_i, P_{j,l,m}^{TF}, P_{i,l,m}^{TC}, P_{l,m}^{TH}, \theta, \varepsilon$ ).
- Une condition unique d'équilibre des revenus (8') pour un niveau de revenu inconnu ( $\Omega$ ), et
- Les contraintes auxiliaires  $2(L \times M)$  (55) et (56) en autant de variables auxiliaires inconnues ( $\tau_{l,m}, Z_{l,m}$ ).

Le modèle informatisé d'équilibre général se compose des vecteurs couplés superposés des variables  $9 + 10I + M + (3 + 2I) (L \times M)$ ,  $\mathbf{b} = \text{vec}[U, \hat{C}_i, \tilde{H}, Q_i^{TC}, Q_i^{TH}, Y_j, Y_m, \tilde{Y}_i, Q_j^{TF}, \hat{P}_i, P_i^{TC}, P_i^{TH}, P_j^{TF}, P_i, \tilde{w}, r, P_i, P_{j,l,m}^{TF}, P_{i,l,m}^{TC}, P_{l,m}^{TH}, \theta, \varepsilon, \Omega, \tau_{l,m}, Z_{l,m}]$ , et des équations  $9 + 10I + M + (3 + 2I) (L \times M)$  (18), (21), (24), (27)-(28), (31)-(32), (42)-(44), (19'), (22'), (25'), (45') à (46'), (47) à (54), (8'), (55) à (56), que nous notons  $\Xi(\mathbf{b})$ . Cette dernière expression représente la correspondance d'excès de demande de l'économie. En établissant le modèle de cette manière, l'économie peut être représentée comme un système homogène d'inégalités non linéaires connu comme un problème de complémentarité mixte (Ferris et Pang, 1997 ; Ferris et Kanzow, 2002) :

$$\Xi(\mathbf{b}) \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{b} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{b}' \Xi(\mathbf{b}) = \mathbf{0},$$

facile à exprimer et à résoudre à l'aide d'outils informatiques tels que le sous-système MPSGE (Rutherford, 1999) du GAMS (Brooke *et al.*, 1998) conjointement avec le solveur PATH (Dirkse et Ferris, 1995).

## NOTES

1. La justification théorique repose sur une hypothèse de concurrence parfaite. Venables et Gasiorek (1999) mettent au point un cadre théorique d'évaluation des effets en se fondant sur une hypothèse de concurrence monopolistique.
2. Les principaux intrants utilisés par Conrad-Heng sont des estimations de référence du capital de transport et des infrastructures, du coût global des encombrements et de l'élasticité de ces derniers relativement aux dépenses d'infrastructures, ce qui, avec les pondérations supposées du secteur,  $\omega$ , permet le calibrage du paramètre  $a$  dans la fonction d'encombrements..
3. Parry et Bento (2001) distribuent équitablement les déplacements entre les différents modes, alors que dans l'étude de Parry et Bento (2001) 33pour cent sont alloués respectivement aux déplacements en période de pointe sur les autoroutes et dans les transports en commun et 17pour cent respectivement aux déplacements sur les routes secondaires et sur les autoroutes hors période de pointe.

**BIBLIOGRAPHIE**

- Anderson, William P. et T.R. Lakshmanan (2007) *Infrastructure and Productivity: What are the Underlying Mechanisms?*, édité par Charlie Karlsson, William P. Anderson, Börje Johansson et Kiyoshi Kobayashi in *The Management and Measurement of Infrastructure: Performance, Efficiency and Innovation*. Edward Elgar, Royaume-Uni.
- Brooke, A., D. Kendrick, A. Meeraus et R. Raman (1998). *GAMS: A User's Guide*, Washington DC GAMS Development Corp.
- Dirkse, S.P. et M.C. Ferris (1995). *The PATH Solver: A Non-Monotone Stabilization Scheme for Mixed Complementarity Problems*, in *Optimization Methods and Software* 5: 123-156.
- Evans, A.W. (1992). *Road congestion pricing: When is it a good policy?*, in *Journal of Transport Economics and Policy*, 26: 213-43.
- Fang, B., X. Han, S. Okubo et A.M. Lawson (2000), *U.S. Transportation Satellite Accounts for 1996*, in *Survey of Current Business* 80: 14-22.
- Ferris, M.C. et C. Kanzow (2002), *Complementarity and Related Problems*, in P.M. Pardalos and M.G.C. Resende (éd.), *Handbook of Applied Optimization*, New York: Oxford University Press, 514-530.
- Ferris, M.C., A. Meeraus et T.F. Rutherford (1999), *Computing Wardropian Equilibria in a Complementarity Framework*, in *Optimization Methods and Software* 10: 669-685.
- Ferris, M.C. et J.S. Pang (1997), *Engineering and Economic Applications of Complementarity Problems*, in *SIAM Review* 39(4): 669-713.
- Fishlow, Albert (1965). *American Railroads and the Transformation of the Antebellum Economy*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Fogel, R.W. (1964), *Railroads and American Economic Growth: essays in econometric history*, John Hopkins University Press, Baltimore.
- Forkenbrock, D.J. et N.S. Foster (1990), *Economic benefits of corridor investment projects*, in *Transportation Research*, 24A(3): 303-312.
- Gunasekara, K., W.P. Anderson et T. R. Lakshmanan (2007, à paraître), *Highway Induced Development: Evidence from Sri Lanka*, in *World Development*.
- Haynes, Kingsley et Kenneth J. Button (2001), *Transportation systems and economic development*, chapitre 16, in Kenneth J. Button et David A. Hensher (éd.) *Handbook of Transportation Systems and Traffic Control*, Amsterdam: Pergamon

- Lakshmanan, T.R. et W. Anderson (2002), livre blanc intitulé *Transportation Infrastructure, Freight Services Sector, and Economic Growth*, préparé pour le ministère américain des Transports, service des autoroutes fédérales.
- Lakshmanan, T.R. et W. Anderson (2007). Tables Rondes CEMT No. 134 : Accès au marché, commerce des services de transport et facilitation des échanges ; *Rôle des transports publics dans le processus d'intégration régionale* ; E & F in Kappa. – OECD No. 742007052E1.
- Lakshmanan, T.R. et C.-I. Hua (1983). *A Temporal-Spatial Theory of Consumer Behavior*, in *Regional Science and Urban Economics* 13: 341-361.
- Mackie, Peter et John Nellthorp (2001), *Cost-benefit analysis in transport*, chapitre 10 in Kenneth J. Button et David A. Hensher (éd.) *Handbook of Transportation Systems and Traffic Control*, Amsterdam: Pergamon.
- Mayeres, I. et S. Proost (1997), *Optimal Tax and Public Investment Rules for Congestion Type of Externalities*, in *Scandinavian Journal of Economics* 99(2): 261-279.
- Parry, I.W.H. et A.M. Bento (2001). *Revenue Recycling and the Welfare Effects of Road Pricing*, in *Scandinavian Journal of Economics* 103: 645-671.
- Parry, I.W.H. et A.M. Bento (2002), *Estimating the Welfare Effect of Congestion Taxes: The Critical Importance of other Distortions within the Transport System*, in *Journal of Urban Economics* 51: 339-365.
- Rutherford, T.F. (1995), Extensions of GAMS for Complementarity Problems Arising in Applied Economic Analysis, in *Journal of Economic Dynamics and Control* 19(8): 1299-1324.
- Rutherford, T.F. (1999), *Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax*, in *Computational Economics* 14: 1-46.
- Sue Wing, I. (2004), *Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis*, in MIT Joint Program on the Science & Policy of Global Change, note technique n° 6, Cambridge, États-Unis.
- Venables, Anthony J. et Michael Gasiorek (1999), *Welfare Implication of Transport Improvement in the Presence of Market Failure*, rapport au Standing Committee on Trunk Road Assessment, Londres, Department of Environment Transportation and the Regions.



**PROGRÈS ET DÉFIS DANS L'APPLICATION DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE À  
LA POLITIQUE DES TRANSPORTS :**  
*REMARQUES FINALES POUR LA TABLE RONDE SUR LA RECHERCHE  
EN MATIÈRE DE PROGRAMMATION ET D'OUTILS D'ÉVALUATION DES  
INFRASTRUCTURES*

**Glen E. WEISBROD et  
Brian Baird ALSTADT  
Economic Development Research Group, Inc.  
Boston, Mass  
ÉTATS-UNIS**



## SOMMAIRE

|   |     |
|---|-----|
| 1. TENDANCES DE LA RECHERCHE ET BESOINS DE L'ÉVALUATION DES POLITIQUES .....    | 204 |
| 2. QUE SIGNIFIENT LES EFFETS « AU SENS LARGE » ?.....                           | 205 |
| 3. CLASSEMENT DES MODÈLES ÉCONOMIQUES PRÉDICTIFS EN MATIÈRE DE TRANSPORT .....  | 206 |
| 3.1. Interaction des modèles de transport et des modèles économiques.....       | 206 |
| 3.2. Les modèles de demande de déplacement .....                                | 207 |
| 3.3. Modèles d'interaction entre transport et urbanisme (modèles LUTI).....     | 207 |
| 3.4. Les modèles d'équilibre général .....                                      | 208 |
| 3.5. Les modèles de simulation économique .....                                 | 208 |
| 3.6. Les modèles d'accès.....   | 209 |
| 4. CONSÉQUENCES DE LA RECHERCHE RÉCENTE POUR LA MODÉLISATION.....               | 210 |
| 5. AMÉLIORATIONS MÉTHODOLOGIQUES NÉCESSAIRES À L'ÉVALUATION DES POLITIQUES..... | 212 |
| NOTES.....  | 214 |
| RÉFÉRENCES .....  | 215 |

Boston, septembre 2007



## RÉSUMÉ

Cette note de conclusion résume certains aspects essentiels des applications politiques des cinq études présentées à la Table Ronde. Elle explique la portée des différentes techniques macro-, méso- et micro-économiques et celle de leurs applications prédictives à l'évaluation et à la programmation des infrastructures. Elle examine ensuite les arbitrages et les limites qui influent sur la concrétisation politique de toutes les méthodes et indique les orientations nécessaires pour offrir aux décideurs de futurs modèles économiques plus applicables.

## 1. TENDANCES DE LA RECHERCHE ET BESOINS DE L'ÉVALUATION DES POLITIQUES

Au fil du temps, les décideurs ont vu la recherche sur les interactions transport-économie évoluer pour devenir de plus en plus sophistiquée en ce qui concerne la portée des interactions reconnues. Or, les décideurs ne cherchent pas davantage de complexité, mais plutôt une meilleure couverture des situations applicables et une plus grande précision de nos résultats et de leur application à l'évaluation des politiques. La « Table Ronde de l'OCDE sur la programmation et les outils d'évaluation des infrastructures aux niveaux macro-, méso- et micro- » a mis en lumière deux éléments importants de cette évolution de la recherche.

- *La valeur des diverses perspectives spatiales* – Premier élément : on admet plus explicitement que la nature des problèmes de transport et leurs interactions avec l'économie peuvent apparaître différentes quand on les place dans d'autres perspectives – la macro-échelle des nations, la méso-échelle des zones métropolitaines ou la micro-échelle des communautés locales. Les effets des flux d'échanges, les économies d'agglomération et les répercussions spatiales tendent tous à se révéler particulièrement importants à un niveau différent d'observation spatiale.
- *L'importance de la reconnaissance des effets au sens large* – Deuxième élément de l'évolution de la recherche : on se rend mieux compte que les effets des transports sur l'économie peuvent être sensiblement « plus larges » que ne l'indiquaient les méthodes traditionnelles d'évaluation des transports. Il s'ensuit qu'il faut développer ces méthodes pour appréhender les interactions plus étendues des systèmes de transport et des économies, interactions qui sont de nature à augmenter, diminuer ou modifier d'une autre manière notre mesure des avantages économiques procurés par les investissements dans les transports.

Dans l'optique des décideurs, ces deux aspects du progrès de la recherche sont nécessaires, mais encore insuffisants pour permettre d'améliorer les décisions d'investissement dans les transports. Il reste au moins deux besoins supplémentaires à satisfaire. D'abord celui de modèles avec plusieurs « leviers de politique ». Si les chercheurs sont souvent en quête de rapports universels qui permettent des généralisations sur l'ordre de grandeur des effets économiques, les décideurs cherchent des différenciateurs pouvant les aider à distinguer diverses politiques ou divers investissements. Ainsi, alors que les chercheurs peuvent déplorer l'absence de consensus sur le caractère positif ou négatif des répercussions économiques d'un investissement autoroutier, les décideurs réalisent que les deux résultats s'appliquent à des situations différentes et cherchent des informations qui leur permettent d'effectuer la différenciation. De même, les chercheurs s'efforcent de concilier les différents résultats sur l'importance des économies d'agglomération ; en revanche les décideurs tentent de distinguer les conditions dans lesquelles ces effets deviennent effectivement importants.

Le deuxième besoin des décideurs est de disposer de modèles économiques qui les aident à améliorer l'applicabilité à la prise de décision de l'analyse avantages/coûts. Pour atteindre cet objectif, il est indispensable de reconnaître l'existence d'avantages « externes » plus étendus. Mais, quand nous passons du niveau macro au niveau micro de la perspective spatiale et économique, nous pouvons aussi voir se modifier nos définitions de l'« utilisateur » ou du « décideur » (par exemple, les conducteurs de véhicules, les voyageurs, les transporteurs et les destinataires de marchandises ou les unités industrielles plus importantes) et de ce qui constitue ce que l'on appelle les « effets élargis ». Dès lors, bien que l'on traite habituellement le développement ou

la réorganisation économiques comme des externalités par rapport aux effets des investissements dans les transports, ils peuvent constituer en réalité les motivations fondamentales de certains projets ou interventions de politique, plutôt que de simples effets secondaires.

Compte tenu des intérêts de politique, la recherche actuelle sur les effets économiques élargis de l'investissement dans les transports peut tout à fait répondre aux préoccupations des décideurs. Cette note présente les progrès qui sont faits et les difficultés qui subsistent pour appliquer les résultats de la recherche économique à la politique des transports et aux décisions d'investissement en ce domaine. Tout d'abord, nous examinons les définitions de ce qui constitue les effets économiques élargis. Ensuite, nous classons les différentes démarches inhérentes aux divers types d'outils de modélisation économique et aux diverses méthodes d'analyse de politique, en observant comment elles mettent l'accent sur différentes formes d'externalités et sur les effets élargis. Enfin, nous évoquons les limites et les défis auxquels se heurte l'emploi de ces méthodes de modélisation économique dans l'analyse de politique.

## 2. QUE SIGNIFIENT LES EFFETS « AU SENS LARGE » ?

La question de savoir « quels sont les avantages plus larges des investissements dans les transports ? » appelle une suite : « plus larges que quoi ? ». Parmi les auteurs qui ont préparé des études pour la Table Ronde, ces questions liées donnent lieu à des interprétations diverses. Selon Cohen (2007), par exemple, « le concept d'avantages élargis se réfère aux retombées bénéfiques au-delà de la région géographique où l'investissement est effectué » (page 2). Il présente ensuite les outils empiriques et les résultats concernant les effets de «retombées» au sens large. D'autres, comme Graham (2007), considèrent les incidences plus larges comme celles qui « ne sont normalement pas appréhendées par une évaluation coûts/avantages standard » (page 1). Plus précisément, il présente des méthodes d'extension de la mesure des impacts qui visent à inclure les effets d'agglomération sur la productivité. Sue Wing, Anderson et Lakshmanan (2007) interprètent l'expression « au sens large » comme signifiant le degré auquel les mécanismes d'ajustement économique sont endogénéisés dans le processus analytique. Les modèles comme ceux qu'ils présentent dans leur étude « donnent une image plus complète [élargie] des retombées économiques des infrastructures » (p. 2). Pour Johansson (2007), « au sens large » signifie à la fois l'étendue de l'échelle géographique et l'intégration des effets de réseaux interurbains à la modélisation. Il évoque les moyens par lesquels les modes d'accès peuvent modifier le comportement économique et l'organisation spatiale *entre et parmi* les centres urbains dans des régions urbaines fonctionnelles.

Enfin, Vickerman (2007) conforte les idées des autres auteurs en analysant les recherches récentes dans le but de concilier la méthode avantages/coûts et les résultats macroéconomiques. A son avis, l'analyse standard peut être élargie pour englober plusieurs phénomènes, dont les externalités spatiales, les effets d'agglomération et les conséquences au niveau des entreprises (substitution d'inputs). De manière plus générale, il estime que l'on peut appliquer la méthode avantages/coûts au-delà du marché (inutilement étroit) des transports pour englober les marchés plus importants des activités qui utilisent les transports.

Même dans le cadre de ce recensement, la diversité des réponses à la question des « incidences élargies » est rassurante et chaque étude permet d'enrichir notre compréhension de la relation entre les transports et les interactions économiques. Plus important encore : ces études font apparaître plus clairement les défauts des techniques actuelles d'évaluation et indiquent des moyens de réviser les méthodes futures pour tenir compte des progrès de compréhension.

### 3. CLASSEMENT DES MODÈLES ÉCONOMIQUES PRÉDICTIFS EN MATIÈRE DE TRANSPORT

L'analyse empirique et les études statistiques sont aussi à la base de la conception des modèles *ex ante* et d'autres techniques d'évaluation qui viennent à l'appui des politiques et des décisions d'investissement. En effet, les méthodes actuelles de modélisation prédictive représentent une gamme de perspectives aux niveaux macro-, méso- et –micro qui reflètent les diverses composantes de ces « effets élargis ». Mais, dans cet ensemble, on retrouve toujours deux arbitrages :

1. *L'arbitrage sur la précision* – les modèles plus précis pour une dimension des effets (comme le détail spatial ou sectoriel) ont tendance à être moins précis pour d'autres aspects.
2. *L'arbitrage sur la complexité* – les modèles plus complexes et couvrant davantage d'effets exigent souvent un plus grand nombre d'hypothèses simplificatrices, qui limitent aussi leur réalisme.

Ces types d'arbitrages s'appliquent à pratiquement toutes les catégories de modèles. Ils ne compromettent pas forcément l'intérêt des modèles prédictifs, mais soulignent bien l'importance de nouvelles recherches pour améliorer la précision de ces modèles et leur utilité pour les décisions de politique et d'investissement. Pour comprendre ces rapports, il convient d'examiner brièvement la portée des techniques et des modèles d'évaluation *ex ante*, les arbitrages qu'ils intègrent et leur évolution dans le temps. Il en ressort que chaque démarche de modélisation comporte une série différente d'avantages et de limites qui lui sont inhérents.

#### 3.1. Interaction des modèles de transport et des modèles économiques

À la suite de l'avènement de l'informatique, plusieurs instruments utiles sont apparus dans les années 1960 et 1970. On peut citer, parmi les plus importants, les modèles de demande de déplacement et les modèles *input/output*. Les premiers ont beaucoup facilité l'évaluation d'impact, parce qu'ils fournissaient une méthode de simulation du rapport offre/demande sur le marché des transports *au stade du voyageur individuel*. Ces modèles ont été très propices au calcul avantages/coûts, en fournissant une métrique au niveau des utilisateurs individuels (temps du voyage, coût du voyage) que l'on pouvait aisément convertir en avantages pour un projet spécifique.

Les modèles *input/output* ont aussi beaucoup apporté à l'analyse de politique. Ils simulaient la matrice des interactions intersectorielles pour une ou plusieurs régions et donnaient donc une méthode pour apprécier les incidences macroéconomiques *au stade d'un secteur spécifique*. De plus, le cadre *input/output* à l'échelle macro complétait le modèle de demande de déplacement à l'échelle micro, puisqu'il prévoyait les effets sur l'ensemble de l'économie des variations des coûts de voyage et les dépenses liées au projet. Les projets qui employaient les deux pouvaient donc prévoir une large gamme de résultats probables à des échelles variées.

Bien que ces modèles aient beaucoup fait progresser les techniques d'évaluation, les premières générations étaient assez limitées. Ainsi, les modèles de déplacement reposaient sur des hypothèses excessivement simples comme la fixité des matrices de parcours, une croissance linéaire de la demande totale et des méthodes d'assignation simples, basées principalement sur les temps de voyage. Les modèles *input/output* étaient également limités, surtout dans la mesure où ils étaient non spatiaux et ne tenaient pas compte des transports en tant qu'instrument, mais seulement en tant que produit issu d'un secteur unique.

Du fait de ces limitations, les évaluations avantages/coûts étaient « agnostiques » à l'égard des interactions économiques plus larges, tout comme l'évaluation de l'impact économique à l'échelle d'une région était « naïve » vis-à-vis de l'évolution des durées de déplacement et de l'accès.

Beaucoup des premiers chercheurs ayant admis et compris ces limites, on a fait de grands progrès pour y remédier. Désormais, les modèles de voyage au niveau micro et les modèles d'impact économique au niveau macro sont souvent fusionnés sous forme de plus grands modèles « connectés » ou intégrés mathématiquement d'une autre façon. Cette évolution a estompé la distinction, auparavant claire, entre les modèles de déplacement et les modèles d'impact économique. Entre autres conséquences de cette tendance, les concepts d'*avantage* et d'*impact* ont parfois été aussi obscurcis.

### 3.2. Les modèles de demande de déplacement

Ces modèles ont beaucoup évolué depuis les premiers temps de leur utilisation. Ils l'ont fait dans le sens de l'assouplissement des hypothèses restrictives de l'extension du marché des transports analysé et d'un plus grand réalisme. On peut remplacer les matrices de déplacement fixes par des matrices dynamiques ; on peut rendre les réseaux plus réalistes à l'égard des flux de trafic ; les techniques d'assignation du trafic peuvent utiliser des fonctions de coûts généralisés et être stochastiques plutôt que déterministes ; les modèles peuvent intégrer de multiples modes et objectifs de déplacement ; on peut appréhender les voyages induits.

Pourtant, peu d'exercices de programmation intègrent actuellement toutes ces caractéristiques. La plupart des modèles d'impact économique utilisent encore les coûts généralisés, qui ne distinguent pas les effets des périodes de pointe des autres. En général, les modèles de transport utilisés pour la programmation ne font pas intégralement apparaître les différences de dosage et de sensibilité au temps selon que le fret traverse différents corridors et régions. Ces insuffisances continuent d'être mal ressenties par les organisations professionnelles ; elles pensent qu'il en résulte une dilution de l'avantage apparent de politiques et d'actions qui réduisent les délais aux heures de pointe ou les encombrements sur des sites particulièrement critiques comme les aéroports, les ports maritimes, les équipements ferroviaires intermodaux et les frontières internationales<sup>1</sup>.

### 3.3. Modèles d'interaction entre transport et urbanisme (modèles LUTI)

Les modèles LUTI procèdent d'une amélioration des modèles de demande de transport : ils reconnaissent que, sur une période suffisamment longue, les modes origine-destination sont endogènes à la demande de transport. En fait, ce progrès consiste simplement à assouplir une hypothèse des modèles de déplacement « standard », à savoir que l'usage des sols reste constant. Les modèles LUTI peuvent beaucoup différer, tant par leur structure (modèles « intégrés » par opposition aux modèles « connectés ») que par leur portée. Dans certaines applications, les modèles de voyage n'interagissent qu'avec les modèles d'usage des sols ; dans d'autres, les marchés de transport interagissent, par le biais de matrices de comptabilité sociale, avec les marchés fonciers, les marchés du travail et les marchés de produits. Dans le dernier cas, le modèle peut opérer simultanément sur plusieurs échelles : le modèle *input/output* peut fonctionner pour un petit nombre de vastes zones, le modèle d'usage des sols sur une échelle intermédiaire et le modèle de demande de transport au plus haut degré de désagrégation<sup>2</sup>.

Ces types de modèles ont l'avantage de permettre d'évaluer à un niveau spatial très détaillé les effets des projets relatifs aux transports sur le développement des marchés ainsi que sur la dispersion des emplacements résidentiels et professionnels. Toutefois, on effectue souvent un arbitrage pour obtenir une plus grande précision spatiale des usages du sol ; il consiste à être moins précis dans la classification des secteurs et des flux intersectoriels concernant ces régions. Autre arbitrage : les modèles ne portent en général que sur l'accès

au système routier et sur les coûts de voyage, mais laissent de côté les modes de transport ferroviaires, aériens ou maritimes et les exigences du transport de fret spécialisé.

Beaucoup de modèles LUTI ont pour caractéristique notable de ne pas résoudre simultanément, mais plutôt par étapes, les différents marchés simulés (transport, usage du sol, travail, produits). Si cet aspect ne compromet pas nécessairement leur utilité à des fins de programmation, il peut avoir des conséquences sur leur emploi dans l'analyse avantages/coûts. Le modèle global se composant de plusieurs sous-modèles qui peuvent être calibrés et résolus séparément (mais pas simultanément), l'estimation des avantages pour tous les marchés risque de ne pas toujours appréhender ou refléter les avantages de l'ensemble du projet. Néanmoins, les modèles LUTI ont été utilisés avec succès pour estimer les impacts économiques, la majorité des applications ayant porté sur des zones métropolitaines ou des états uniques, où l'on a besoin de données spatiales détaillées pour calibrer des réseaux denses de demande de transport.

### 3.4. Les modèles d'équilibre général

A la différence des modèles LUTI, qui endogénéisent le comportement plus général des marchés en « connectant », au moyen de cadres plus larges, des simulations séparées des marchés, les modèles d'équilibre général endogénéisent ce comportement dans un cadre mathématique unifié. Il est fréquent qu'ils ne soient pas résolus de manière analytique mais plutôt computationnelle, par itération, et ils sont donc aussi qualifiés de modèles d'équilibre général 'calculables' (MEGC). Comme les modèles LUTI, les modèles MEGC diffèrent beaucoup par les méthodes et la portée ; néanmoins, la plupart reposent sur une série d'équations simultanées qui représentent l'offre, la demande, les conditions d'équilibre et les interactions des marchés de transport, des marchés fonciers, de ceux du travail et des produits. Les modèles MEGC sont habituellement basés sur un cadre input/output unique ou pluri-régional et ne se prêtent donc pas bien aux applications qui nécessitent un degré élevé de détail spatial. C'est pourquoi la majorité des applications de modèles MEGC a porté sur un niveau international, national ou intermétropolitain<sup>3</sup>.

Les modèles MEGC opèrent à un degré de détail spatial plus grossier que les modèles LUTI, mais ils peuvent assurer plus facilement une couverture multimodale des conditions de transport et distinguer plus précisément les changements spécifiquement sectoriels au sein des coûts de transport inter-régional du fret. Ils diffèrent aussi des modèles LUTI du fait qu'ils sont résolus simultanément. En théorie, cela leur permet d'obtenir en même temps des estimations valables des avantages pour l'ensemble des marchés sans double comptage (dans la mesure où les hypothèses relatives aux marchés restent également valables). Mais la complexité et la rigueur théorique des modèles MEG sont compensées par la nécessité de simplifier diverses mesures de coût et mécanismes de réaction pour permettre la résolution simultanée des équations. Cette simplification inclut des « astuces » mathématiques, comme les coûts d'iceberg, que l'on emploie habituellement au lieu de résoudre l'équilibre offre/demande au niveau des différentes liaisons et des différents itinéraires. On recourt aussi à des fonctions de production à élasticité constante, bien que les études empiriques montrent l'existence de non-linéarités et d'effets de seuil dans les incidences des transports relatives aux économies d'échelle, à l'agglomération, à la dispersion de la chaîne d'offre et aux retombées spatiales.

### 3.5. Les modèles de simulation économique

Les modèles de simulation économique sont des outils logiciels d'utilisation générale dans l'analyse de politique. Pour l'évaluation des transports, ils se distinguent des modèles d'équilibre général par la nature des incidences qu'ils prévoient. C'est pourquoi Sue Wing *et al.* (2007) notent : « il convient de faire le départ entre deux catégories de conséquences économiques, que nous appelons les impacts *d'équilibre général statique* et les impacts de *développement dynamique* » (page 4 ; les italiques sont un ajout). Le premier type d'impact concerne les changements à court terme des marchés de transport, du travail et des produits, alors que le deuxième se rapporte aux effets induits endogènes à plus long terme, comme la migration de

la population et de l'emploi, la substitution d'inputs et l'évolution des préférences des ménages. Certains modèles de simulation économique tentent aussi de prévoir ces effets dynamiques supplémentaires jusqu'au niveau des cantons ou des circonscriptions administratives infra-provinciales<sup>4</sup>.

Alors que les modèles MEGC servent le plus souvent à prévoir la croissance économique, certains modèles de simulation économique essaient aussi de prévoir les sentiers temporels de substitution d'inputs, les variations de prix des logements et de la main-d'œuvre, les changements en matière de migrations et l'évolution des modes de consommation. En outre, les modèles de ce type se différencient des modèles LUTI en ce qu'ils opèrent généralement à une plus grande échelle (régionale ou pluri-régionale) et pratiquent un traitement plus naïf (moins développé) des interactions de l'usage des sols et des transports. L'arbitrage est le suivant : un plus grand degré de détail pour les secteurs économiques au détriment d'une moindre précision pour les zones spatiales.

Pour l'analyse de politique, on considère souvent les modèles de simulation économique comme un progrès par rapport aux modèles *input/output* « statiques » utilisés antérieurement, parce qu'ils peuvent prévoir les incidences sur la démographie et la population active, et cela avec un sentier temporel. Mais, pour l'évaluation des transports, les modèles de simulation économique ont des limites similaires aux modèles MEG : ils intègrent des hypothèses simplificatrices sur les coûts de transport. On arrive en fait à leur complexité plus poussée en ajoutant encore plus d'hypothèses simplificatrices sur les élasticités de la substitution aux importations, les réactions en matière de coûts de main-d'oeuvre et de migration ainsi que le moment des ajustements aux impacts. Ces effets additionnels ont certes un fondement théorique, mais la justification empirique de leurs valeurs est souvent ténue. On s'est également interrogé sur l'applicabilité du transfert sur des domaines d'étude à échelle réduite de réactions à grande échelle à des impacts.

### 3.6. Les modèles d'accès

Dans le domaine de la recherche orientée sur les politiques, un autre type de modèle est apparu pour prévoir la croissance économique qui suit un investissement dans les transports. Il s'agit en général de modèles économétriques qui s'inspirent des études sur l'agglomération, les répercussions spatiales, la productivité de la chaîne de l'offre et la nouvelle géographie économique pour prévoir l'accélération du développement économique local susceptible de résulter d'un investissement particulier dans les transports. Ils reposent sur des études économétriques démontrant que les incidences économiques sur la localisation des entreprises et leur attraction sont sujettes à des effets non linéaires qui vont au-delà des conséquences traditionnelles des coûts du temps de transport et des frais correspondants, comme l'a démontré Johansson (2007). Ces facteurs non linéaires comprennent les économies liées à l'élargissement de l'accès au marché du travail, au marché des livraisons et à celui des chaînes d'offre. Outre les économies d'agglomération d'un accès élargi aux marchés, certains modèles d'accès appréhendent aussi les économies qui résultent d'une meilleure connexion de la chaîne d'offre aux réseaux d'autoroutes et aux équipements intermodaux ferroviaires, aériens et maritimes (Weisbrod, 2007).

Ces modèles tendent à opérer indépendamment des modèles de demande de voyage et d'ajustement macroéconomique ; ce sont en fait des méthodes ad hoc, utilisées pour appréhender les incidences économiques qui échappent aux deux autres catégories de modèles sous leur forme « traditionnelle ». Graham (2007) est explicite sur ce point :

« En ce domaine, il y a un problème essentiel : les économies d'agglomération sont des *externalités* ; autrement dit, il s'agit d'un effet secondaire de l'activité des entreprises qui a des conséquences pour l'ensemble de l'économie. C'est très important pour l'évaluation des transports, les méthodes classiques basées sur l'évaluation des temps de voyage ne reconnaissant pas ces types d'externalités. On peut donc classer les effets d'agglomération des investissements en transports dans la catégorie des *avantages économiques au sens large*, car ils représentent des imperfections du marché dont l'évaluation standard coûts/avantages ne tient pas compte » (page 6).

Les modèles d'accès sont de nature très diverse et peuvent servir à appréhender de nombreux phénomènes, mais on les emploie souvent pour estimer les impacts en rapport avec l'agglomération. Johansson (2007) note qu'il est possible de mesurer de trois façons les propriétés des infrastructures : (1) par la valeur en capital de l'investissement ; (2) par les propriétés de liaison ; et (3) par les propriétés de réseau ou d'accessibilité. Les modèles d'accès ont pour caractéristique essentielle d'être centrés sur la troisième mesure. On prévoit donc les gains de productivité ou d'autres avantages à partir de travaux empiriques antérieurs, qui mettent en rapport les modifications de ces mesures et la croissance observée dans le passé. Si les modèles d'accès ont l'avantage d'être assez souples pour fonctionner avec les modèles traditionnels de demande de transport, ils sont sujets à un certain nombre de limites. Graham (2007) en relève plusieurs, notamment le fait qu'un modèle d'accès « ne nous dit en fait pas grand-chose sur l'origine des avantages de l'agglomération pour la productivité » (page 16). On peut faire des remarques similaires à propos des modèles de l'incidence sur la croissance économique d'un meilleur accès aux aéroports, aux ports maritimes et aux réseaux ferrés ainsi qu'à l'égard de certains modèles des répercussions spatiales de l'amélioration des transports. Dans chaque cas, les effets prévus résultent de la conjonction d'un gain net de productivité et d'un transfert spatial de l'activité (changement de localisation des entreprises) ; mais les modèles ne distinguent pas souvent l'importance de chaque élément.

#### 4. CONSÉQUENCES DE LA RECHERCHE RÉCENTE POUR LA MODÉLISATION

Chacune des études présentées à cette Table Ronde (et des domaines respectifs de la recherche qu'elles représentent) a des conséquences pour les différents types de modèles évoqués ci-dessus.

A première vue, l'examen fait par Cohen (2007) des études des fonctions de production et de coût avec ajustement pour les répercussions spatiales pourrait sembler n'avoir qu'un lointain rapport avec les modèles prédictifs mentionnés plus haut, et cela pour les raisons citées par Vickerman (2007). Entre autres choses, il note que « le problème de cette méthode est qu'elle ne tient pas compte du mode d'utilisation des infrastructures au sein de l'économie en question » (page 7). En d'autres termes, elle ignore les mécanismes qui génèrent les incidences mesurées et n'a donc qu'une application limitée aux recherches *ex ante*. Cela ne diminue en rien son importance comme condition de notre *compréhension* globale des conséquences des transports sur la performance économique, et en particulier de l'existence d'effets de répercussion spatiale ; son applicabilité en tant qu'outil de la recherche orientée sur les politiques s'en trouve simplement limitée.

Toutefois, cette manière d'opérer a une conséquence très importante : tout travail empirique doit traiter l'auto-corrélation spatiale. Toutes les techniques de modélisation présentées dans la partie précédente doivent être calibrées à des géographies particulières pour servir à l'évaluation des projets. Il y a de nombreuses formes de calibrage, mais elles exigent souvent l'analyse économétrique de données spatiales. Ainsi, les modèles de demande de transport et les modèles *input/output* s'appuient sur des « modèles de gravité » ; les modèles LUTI peuvent intégrer un grand nombre de régressions spatiales. A chaque fois, il faudrait tester les résidus pour l'auto-corrélation spatiale, mais on le fait rarement en pratique. Comme le dit Cohen (2007), le point essentiel en ce domaine est que « l'autocorrélation spatiale implique des interdépendances entre les différentes localisations » (page 7). Or, quand on calibre un modèle spatial, c'est précisément ce que l'on tente d'appréhender dans les *paramètres* (et non parmi les résidus). L'absence d'auto-corrélation spatiale introduit donc un biais dans le modèle et s'apparente à une mauvaise spécification. Malheureusement, en examinant les applications des méthodes d'évaluation *ex ante* évoquées antérieurement, on voit que ces phénomènes sont pratiquement ignorés.

L'étude de Graham (2007) a aussi des conséquences précises pour certains types d'analyse de politique. Comme on l'a dit plus haut, il donne les grandes lignes d'une technique d'estimation exogène d'incidences économiques qui sont « externes » aux méthodes traditionnelles d'évaluation des avantages/coûts et de l'impact économique. Il trouve plusieurs extensions de cette direction de recherche qui pourraient améliorer les techniques d'évaluation, comme l'augmentation de la résolution industrielle des résultats, la prise en compte d'impacts différenciés dans l'espace et l'utilisation des coûts de voyage généralisés (sur les réseaux multimodaux) pour mesurer l'accessibilité, de préférence aux mesures basées sur les distances.

De manière plus générale, nous reconnaissons que le travail d'estimation de ces « externalités » se heurte à un dilemme : rester à l'extérieur des cadres de modélisation plus larges ou être endogénéisé dans les modèles LUTI et MEG ou dans les modèles de simulation économique. D'une part, une estimation séparée de ces incidences est attractive, en raison de la difficulté empirique de le faire et parce que les incidences peuvent varier sensiblement d'un endroit à l'autre. A ce titre, les modèles d'accès sont peut-être en mesure de donner les estimations les plus précises de l'impact spécifique d'un projet à un niveau d'impact localisé. D'autre part, il est clair que les incidences d'agglomération ont des conséquences micro-, méso- et macro-économiques qui exigent des mécanismes de « *feedback* » dans les analyses avantages/coûts et *input/output*. C'est précisément l'idée exprimée par l'étude de Johansson (2007), qui intègre des mesures d'accès à un cadre empirique opérant sur trois niveaux géographiques interconnectés. Il reconnaît l'importance de faire une distinction entre marché local et marché distant, tout en estimant que les changements d'infrastructures peuvent affecter le premier, le second ou les deux. Fondamentalement, les mesures d'accès sont les liens qui rattachent les incidences sur le bien-être local aux incidences sur la croissance macroéconomique.

Mais les travaux de Johansson montrent aussi que les techniques actuelles d'évaluation risquent de diminuer l'importance des effets de seuil et des non-linéarités en évaluant l'incidence économique d'une amélioration de l'accès. Il donne l'exemple de ces phénomènes dans leur rapport avec le marché du travail. Il est démontré que les préférences en matière de trajet domicile-lieu de travail varient énormément pour les différentes gammes d'accès à l'emploi ; la raison de ces non-linéarités est que les marchés du travail sont locaux, mais aussi insérés dans de plus vastes régions urbaines fonctionnelles. De cette façon, le travail de Johansson donne une méthode d'intégration des effets d'agglomération dans les modèles prédictifs dont l'application la plus directe est le modèle LUTI.

Les travaux de Sue Wing *et al.* (2007) abordent les questions soulevées par les autres auteurs – en particulier la nécessité de tenir compte des facteurs économiques spatialement mobiles et d'étendre l'analyse avantages/coûts au-delà d'une vision étroite du seul marché des transports. Les modèles d'équilibre général constituent en principe une méthode pour répondre à ces deux besoins. Ils ont pour principal avantage de couvrir une large gamme d'ajustements économiques sur toute une série de marchés, tout en préservant les hypothèses qui sous-tendent l'analyse avantages/coûts. Les résultats indiquent donc l'augmentation des rentes des consommateurs et des producteurs (comme auparavant), mais les transports ne sont pas traités seulement comme un marché isolé ; on considère aussi leur effet instrumental sur *tous* les marchés. Sue Wing *et al.* (2007) ainsi que Vickerman (2007) relèvent ces limites. Au regard des modèles présentés ci-dessus, la principale limite des modèles MEG est qu'ils risquent d'être inopérants pour l'analyse à une échelle géographique réduite. Cela cantonne leur utilisation à un petit nombre de projets de très grande envergure, alors qu'ils ne peuvent concourir à la grande majorité des évaluations qui portent sur un seul réseau, une seule liaison ou un seul noeud.

Enfin, les auteurs présentés ici posent collectivement une question centrale relative à la nature de l'*avantage* d'un projet par opposition à son *impact*. Dans les travaux antérieurs d'évaluation *ex ante*, la distinction était très claire (bien qu'un peu naïve), mais l'évolution des techniques décrites plus haut l'a obscurcie dans de nombreux cas (cf. Alstadt et Weisbrod, 2007). La nature précise de cette confusion apparaît dans les commentaires que font Sue Wing *et al.* (2007) sur l'analyse traditionnelle avantages/coûts.

« L'intérêt de [l'analyse avantages/coûts] découle de l'argument théorique selon lequel la rente des consommateurs, qui mesure le prix que l'usager serait prêt à payer, englobe la totalité des avantages

économiques. Ainsi, les autres retombés mesurables, comme l'appréciation des biens immobiliers à proximité de l'équipement amélioré, sont surtout des résultats de la diminution du temps de parcours ; les inclure dans le calcul des avantages constitue donc un double comptage » (page 8).

Un avantage est donc le résultat précis d'une modification de l'équilibre d'un marché bien défini, telle que la reflètent l'offre, la demande et les coûts internes (prix). Mais chaque progrès successif des techniques de modélisation des parcours a élargi la portée du marché considéré. Les modèles LUTI, par exemple, l'ont fait en « connectant » des modèles apparentés. Les modèles MEG intègrent les marchés dans un cadre unifié. Les modèles d'accès aux activités calculent séparément les incidences externes aux marchés évoqués ci-dessus (comme le font les estimations des effets sur l'environnement). Dans chaque cas, les hypothèses qui sous-tendent le(s) modèle(s) indiquent si certains avantages peuvent être redondants. La citation ci-dessus montre que, dans l'analyse classique, les avantages sur les marchés locatifs seraient redondants avec ceux du marché des transports. Mais ils ne le seraient pas pour les modèles MEG, car les prix dans un domaine sont une fonction des prix dans un autre et les marchés s'équilibrent simultanément. Pour certains modèles LUTI, l'interprétation peut être ambiguë et dépendrait des modalités spécifiques d'interaction des modèles « connectés ».

De plus, comme le notait Vickerman, toutes les techniques d'évaluation examinées ici mesurent les incidences sur le bien-être. Même quand une analyse détaillée avantages/coûts est superflue ou imprécise, les modèles LUTI et les modèles de simulation économique (ainsi que les modèles *input/output* traditionnels) estiment les variations du revenu personnel. Sue Wing *et al.* (2007) ont trouvé un moyen de concilier les différences éventuelles entre le bien-être mesuré par l'analyse avantages/coûts et par l'évolution du revenu personnel. En introduisant la contrainte de temps sur l'utilité pour les ménages, il est possible d'estimer les effets sur le bien-être des modifications du temps de parcours et ceci dans le cadre du modèle d'ajustement macroéconomique.

## 5. AMÉLIORATIONS MÉTHODOLOGIQUES NÉCESSAIRES À L'ÉVALUATION DES POLITIQUES

Le développement de la recherche sur les incidences élargies du transport et sur les multiples niveaux de l'analyse spatiale est une évolution encourageante, dans la mesure où elle augmente le nombre des techniques disponibles pour programmer et évaluer les transports. Le défi pour l'avenir est d'améliorer la capacité des modèles à traiter toute une série de problèmes de politique. On doit pour cela s'engager dans quatre directions :

1. *Faire correspondre les échelles spatiales des modèles aux problèmes de politique des transports* – Les méthodes d'évaluation des avantages dont on a besoin pour décider de financer des programmes couvrant de vastes zones sont très différentes de celles qu'exigent la conception d'équipement locaux et les décisions sur les lieux d'implantation. Les problèmes économiques se posent à des échelles spatiales diverses et les budgets justifiables pour les évaluations ont aussi des ordres de grandeur inégaux. Par ailleurs, il y a des arbitrages dans la résolution des divers modèles sur le plan de l'espace, des transports et de l'économie. On peut donc avoir intérêt à appliquer différents types de modèles à divers contextes de politique. Cette démarche pourrait assurer plus de précision et de sensibilité de politique que les tentatives de concevoir des méga-modèles complexes qui cherchent à appliquer les mêmes processus macro-économiques à toutes les échelles spatiales possibles de l'étude.
2. *Reconnaître les facteurs non linéaires* – La croissance des travaux de recherche sur les économies d'agglomération est un premier pas pour répondre à la nécessité plus vaste de reconnaître les facteurs

non-linéaires et les effets de seuil qui sont importants pour prendre des décisions. Si on se demande, par exemple, « quel est le montant approprié des investissements publics en infrastructures », le modèle prédictif devrait pouvoir indiquer qu'un nouvel investissement a un rendement élevé quand la situation présente est particulièrement insatisfaisante, mais qu'un suréquipement aboutit à des rendements décroissants. Supposons maintenant que l'on se demande « en quoi une nouvelle autoroute influe sur l'économie locale » ; le modèle prédictif devrait alors montrer les effets, éventuellement très forts, d'un moindre isolement et d'une amélioration de la connectivité des systèmes, mais un impact limité de réductions modestes et progressives des durées moyennes de parcours, même si elles concernent une population importante. Beaucoup des modèles actuels qui ont des élasticités de réaction constantes ne permettent pas de différencier ces facteurs non-linéaires. Toutefois, les décideurs deviennent circonspects quand des modèles économiques à réaction linéaire cherchent à démontrer que de modestes améliorations des conditions de transport entraînent des variations des taux de salaires et des flux migratoires.

3. *Reconnaître les facteurs multimodaux et intermodaux* – Du fait de la globalisation progressive des produits, des services et des chaînes d'offre, la croissance économique devient plus sensible aux performances du transport de fret multimodal et aux connexions intermodales des transports. Nombre des modèles économiques actuels qui cherchent à déterminer le rendement des investissements dans les transports sont exclusivement centrés sur la performance des systèmes d'autoroutes. Même ceux qui incluent aussi les coûts de transport par rail laissent souvent de côté les conséquences économiques particulières du freinage de la croissance mondiale des échanges et de la réduction de la fiabilité du fret en raison de l'encombrement des ports maritimes, des aéroports et des terminaux ferrés intermodaux. Pour ces équipements, il est fréquent que le problème ne soit pas le niveau élevé des coûts de transport, mais bien le recul de la fiabilité et les contraintes directes sur la croissance. Les conséquences économiques peuvent être particulièrement graves pour les équipements de transport qui servent des points d'entrée très importants et assurent des fonctions de connexion des réseaux.
4. *Modéliser les politiques qui influent sur la qualité des services et la faisabilité économique* – Beaucoup de modèles d'impact économique et de modèles avantages/coûts représentent les modifications des temps de trajet, de la sécurité, de la fréquence, de la fiabilité et même de l'accès aux marchés comme des changements des coûts de transport généralisés. Beaucoup de modèles des localisations régionales représentent l'accès aux transports par des distances temporelles. Bien que ces simplifications se justifient sur le plan théorique, elles peuvent se révéler inappropriées à des projets de transport qui sont conçus pour permettre des activités qui n'étaient pas économiquement faisables auparavant à cause de la dimension trop réduite du marché, de la fréquence insuffisante du service ou de sa qualité déficiente. Cela est très bien illustré par les cas où l'amélioration des transports autorise des processus de production à flux tendus qui n'étaient pas possibles antérieurement. Des projets de ce type peuvent transformer les caractéristiques fondamentales des modes de transport disponibles ou modifier les options d'implantation pour la croissance économique de certaines branches. Ne pas tenir compte de ces incidences peut conduire à sous-estimer la valeur économique des investissements dans les transports qui y donnent lieu.

Les quatre grandes catégories de problèmes que nous avons présentées sont des préoccupations communes des promoteurs du développement économique : la possibilité que les politiques de transport affectent de multiples modes de déplacement, la qualité des services dans les lieux d'implantation, la faisabilité des activités économiques, les effets de seuil qui peuvent interdire ou permettre des formes particulières d'activité. Au fur et à mesure que les modèles économiques et les outils d'évaluation seront encore affinés pour tenir compte de ces facteurs, il y aura une plus grande convergence de perspectives entre les économistes des transports et les promoteurs de la croissance. En définitive, les modèles pourraient mieux servir à prendre des décisions et on serait davantage en mesure de concevoir et d'appliquer les investissements dans les transports de manière à maximiser la productivité et la création d'emplois.

## NOTES

1. Parmi les organisations professionnelles nord-américaines qui financent des recherches pour souligner les problèmes de fret ignorés par les modèles traditionnels de programmation des transports, on peut citer Oregon Business Council, Chicago Metropolis 2020 et Vancouver (BC) Gateway Council.
2. Les caractéristiques des *modèles intégrés d'interaction entre transport et urbanisme* sont variables. On peut citer MEPLAN (Echenique 1994, par exemple), PECAS (Hunt et Abraham, 2005) et TELUM (Pignataro, 2000).
3. Les modèles MEGC diffèrent par leurs caractéristiques et leur portée spatiale. On peut citer comme exemples le modèle MEG intégré de réseau de transports pluri-régionaux pour la Corée (Kim et Hewings, 2003) et PINGO, un modèle spatial MEG pour la Norvège (Ivanova, 2004).
4. Comme exemples de modèles de simulation dynamique opérant au niveau de zones régionales infranationales, on a ASTRA (Cambridge Econometrics, 2003) et les modèles d'analyse de politique REMI (Treyz, 1993).

## RÉFÉRENCES

- Alstadt, B. et G. Weisbrod (2007). "A generalized approach for assessing the direct user impacts of transportation projects." Working paper, Economic Development Research Group, publication forthcoming. <http://www.edrgroup.com/edr1/bm~doc/a-generalized-approach-fo.pdf>.
- Cambridge Econometrics (2003). *Transport Infrastructure and Policy Macroeconomic Analysis for the EU*, European Commission, 2003.
- Cohen, Jeffrey P. (2007). "Wider economic benefits of investment in transport infrastructure," paper prepared for the Roundtable on Macro-, Meso- and Micro-Infrastructure Planning and Assessment Tools, Organization for Economic Co-operation and Development).
- Echenique, Marcial H. (1994). "Urban and Regional Studies at the Martine Centre : Its Origin, Its Present, Its Future", *Environment and Planning B : Planning and Design*, Volume 21, pp. 157-533.
- Graham, Daniel J. (2007), « Économies d'agglomération et investissements dans les transports » étude préparée pour la Table Ronde de l'OCDE sur la programmation et les outils d'évaluation des infrastructures aux niveaux macro-, méso- et micro-.
- Hunt J.D. et Abraham J.E. (2005). "Design and implementation of PECAS : A generalized system for the allocation of economic production, exchange and consumption quantities" ; Chapter 11 in *Foundations of Integrated Land-Use and Transportation Models : Assumptions and New Conceptual Frameworks*, Elsevier, London, pp. 217-238.
- Ivanova, Olga (2004), "Evaluation of infrastructure welfare benefits in the Spatial Computable General Equilibrium (SCGE) Framework," Department of Economics, University of Oslo. <http://www.oekonomi.uio.no/seminar/torsdag-v03/ivanova.doc>.
- Johansson, Börje (2007). "Transport Infrastructure Inside and Across Urban Regions : Models and Assessment Tools," paper prepared for the Roundtable on Macro-, Meso- and Micro-Infrastructure Planning and Assessment Tools, Organization for Economic Co-operation and Development).
- Kim, Euijune et Geoffrey Hewings (2003). "An Application of Integrated Transport Network-Multiregional CGW Model," presented at the 42<sup>nd</sup> Meeting of the Southern Regional Science Association.
- Pignataro, Louis J. *et al.* (1998). "Transportation Economic and Land Use System", *Transportation Research Record*, #1617, Transportation Research Board.
- Sue Win, I., W. Anderson, et T. Lakshmanan (2007). « Avantages au sens large des infrastructures de transport », étude préparée pour la Table Ronde de l'OCDE sur la programmation et les outils d'évaluation des infrastructures aux niveaux macro-, méso- et micro-.
- Treyz, George (1993). *Regional Economic Modeling : A Systematic Approach to Economic Forecasting and Policy Analysis*, Kluwer Academic Publishers.

Vickerman, Roger (2007). “Recent evolution into the wider economic benefits of transport infrastructure investments,” paper prepared for the Roundtable on Macro-, Meso- and Micro-Infrastructure Planning and Assessment Tools, Organization for Economic Co-operation and Development).

Weisbrod, Glen (2007). Models to predict the economic development impact of transportation projects : historical experience and new applications. Working paper, Economic Development Research Group. Submitted for publication. <http://www.edrgroup.com/edr1/bm~doc/models-to-predict-the-eco.pdf>.

**LISTE DES PARTICIPANTS**

|  |                   |
|--|-------------------|
| Professor T.R. LAKSHMANAN<br>Director<br>University of Boston<br>Center for Transportation Studies<br>675 Commonwealth ave., 4th Floor<br>EU- BOSTON, MA 02215<br>ÉTATS-UNIS                               | <b>Président</b>  |
| Professor Roger VICKERMAN<br>Director<br>University of Kent<br>Centre for European, Regional and<br>Transport Economics<br>Keynes College<br>GB- CANTERBURY, CT2 7NP<br>ROYAUME-UNI                        | <b>Rapporteur</b> |
| Professor Jeffrey P. COHEN<br>University of Hartford<br>Barney School of Business<br>200 Bloomfield Ave<br>EU-WEST HARTFORD, CT 06117<br>ÉTATS-UNIS  | <b>Rapporteur</b> |
| Dr. Daniel GRAHAM<br>Senior Research Fellow<br>University of London<br>Centre for Transport Studies<br>Civil and Environmental Engineering<br>Imperial College London<br>GB- LONDON SW7 2BU<br>ROYAUME-UNI | <b>Rapporteur</b> |
| Prof. Börje JOHANSSON<br>Jönköping University<br>Jönköping International Business School<br>PO Box 1026<br>S-551 11 JÖNKÖPING<br>SUÈDE   | <b>Rapporteur</b> |

Professor William P. ANDERSSON  
University of Boston  
Center for Transportation Studies  
675 Commonwealth ave., 4th Floor  
EU- BOSTON, MA 02215  
ÉTATS-UNIS

**Co-Rapporteur**

Mr. Ian SUE WING  
University of Boston  
Center for Transportation Studies  
675 Commonwealth ave., 4th Floor  
EU- BOSTON, MA 02215  
ÉTATS-UNIS

**Co-Rapporteur**

Mr. Brian Baird ALSTADT  
Economist  
Economic Development Research Group, Inc.  
2 Oliver St, FL9,  
EU-BOSTON, MA 02109  
ÉTATS-UNIS

**Co-Rapporteur**

Mr. Glen WEISBROD  
Economic Development Research Group, Inc.  
2 Oliver St, FL9,  
EU-BOSTON, MA 02109  
ÉTATS-UNIS

**Co-Rapporteur**

Prof. Alex ANAS  
Professor of Economics  
State University of New York at Buffalo  
Dept. of Economics  
405 Fronczak Hall  
EU-AMHERST, NEW YORK 14260  
ÉTATS-UNIS

Professor Joseph BERECHMAN  
Chairman, Department of Economics  
The City College, The City University of New York  
160 Convent Ave., NA 5/144  
EU-NEW YORK NY 10031  
ÉTATS-UNIS

Prof. Dr. Ulrich BLUM  
Praesident  
Institut für Wirtschaftsforschung Halle  
Kleine Märkerstrasse 8  
D-06108 HALLE (Saale)  
ALLEMAGNE

Professeur Yves CROZET  
Laboratoire d'Economie des Transports (LET)  
Université Lumière Lyon 2  
MRASH  
14 avenue Berthelot  
F-69363 LYON Cedex 07  
FRANCE

Mr. Bruno DE BORGER  
University of Antwerp  
Prinsstraat 13  
B-2000 ANTWERP  
BELGIQUE

Mr. Alim DEMCHUK  
Head of Department  
Ministry of Transport and Communications  
Financial Regulations and Social Policy  
14 av. Peremogy  
UKR-01135 KIEV  
UKRAINE

Mr. Andrew HAUGHWOUT  
Assistant Vice President  
Microeconomic and Regional Studies Function  
Federal Reserve Bank of New York  
33 Liberty Street  
NEW YORK, NY 10045  
ÉTATS-UNIS

Mr. Gunnar ISACSSON  
TEK/VTI  
Box 760  
S-781 27 BORLÄNGE  
SUÈDE

Mr. Ronald F. KIRBY  
Director of Transportation Planning  
Metropolitan Washington Council of Governments  
777 North Capitol Street, N.E., Suite 300  
EU-WASHINGTON, DC 20002-4239  
ÉTATS-UNIS

Prof. Kiyoshi KOBAYASHI  
Kyoto University  
Graduate School of Management  
Yoshidahonmachi, Sakyo-ku  
J-606-8501 KYOTO  
JAPON

Professor Peter MACKIE  
University of Leeds  
Institute for Transport Studies  
36 University Road  
GB- LEEDS, LS2 9JT  
ROYAUME-UNI

Ms Ganna MAZUR  
Deputy Head, Unit for the bilateral cooperation,  
CIS Organizations and International Agreements,  
Department for Foreign Economic Relations  
Ministry of Transport and Communications  
14 av. Peremogy  
UKR-01135 KIEV  
UKRAINE

Professor Michael D. MEYER  
Georgia Institute of Technology  
School of Civil and Environmental Engineering  
790 Atlantic Drive  
EU- ATLANTA, Georgia 30332-0355  
ÉTATS-UNIS

Professor Catherine J. MORRISON PAUL  
University of California, Davis –  
Department of Agricultural and Resource Economics  
One Shields Avenue  
EU- DAVIS, CA 95616  
ÉTATS-UNIS

Prof. Jan OOSTERHAVEN  
University of Groningen  
Faculty of Economics  
PO Box 800  
NL-9700 AB GRONINGEN  
PAYS-BAS

Dr. Wolfgang SCHADE  
Sustainability and Infrastructures  
Fraunhofer Institute for Systems  
And Innovations Research ISI  
Breslauer Strasse 48  
D-76139 KARLSRUHE  
ALLEMAGNE

Mr. Derek SWEET  
Transportation Research Board (TRB)  
500 5th Street NW  
20001 WASHINGTON  
ÉTATS-UNIS

Dr. Mary Lynn TISCHER  
Director, Commonwealth's Multimodal  
Transportation Planning Office  
1401 E. Broad Street  
EU-RICHMOND, Virginia 23219  
ÉTATS-UNIS

Mr. Martin WEISS  
Office of Planning, Environment, and Realty  
Federal Highway Administration  
1200 New Jersey Ave., SE  
EU-WASHINGTON, DC 20590  
ÉTATS-UNIS

Dr. Karen WHITE  
Economist  
Federal Highway Administration  
1200 New Jersey Avenue, SE, mailstop E83-431  
EU-WASHINGTON, DC 20590  
ÉTATS-UNIS

**SECRÉTARIAT OCDE-FORUM INTERNATIONAL  
SUR LES TRANSPORTS**

**CENTRE CONJOINT DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS**

Mr. Stephen PERKINS  
Chef du Centre Conjoint de Recherche sur les Transports  
2 rue André Pascal  
F-75775 PARIS CEDEX 16  
FRANCE

Dr. Kurt VAN DENDER  
Chef du Centre Conjoint de Recherche sur les Transports  
2 rue André Pascal  
F-75775 PARIS CEDEX 16  
FRANCE

Ms. Françoise ROULLET  
Chef du Centre Conjoint de Recherche sur les Transports  
2 rue André Pascal  
F-75775 PARIS CEDEX 16  
FRANCE

## ÉGALEMENT DISPONIBLES

**Transport et commerce international. Série CEMT – Table Ronde 130ème (2006)**  
(75 2006 13 2 P1) ISBN 92-821-1340-X

**Les transports et la décentralisation. Série CEMT – Table Ronde 131ème (2006)**  
(75 2006 12 2 P1) ISBN 92-821-1344-2

**Investissements en infrastructures de transport et productivité de l'économie. Série CEMT – Table Ronde 132ème (2007)**  
(74 2007 04 2 P1) ISBN 978-92-821-0126-1

**La (dé)réglementation du secteur des taxis. Série CEMT – Table Ronde 133ème (2007)**  
(74 2007 02 2 P1) ISBN 978-92-821-0116-2

**Accès au marché, commerce des services de transport et facilitation des échanges. Série CEMT – Table Ronde 134ème (2007)**  
(74 2007 05 2 P1) ISBN 978-92-821-0148-3

**Tarification des infrastructures de transport et dimensionnement de la capacité : L'autofinancement de l'entretien et de la construction des routes. Série CEMT – Table Ronde 135ème (2007)**  
(74 2007 01 2 P1) ISBN 978-92-821-0110-0

**Estimation et évaluation des coûts de transport. Série CEMT – Table Ronde 136ème (2007)**  
(74 2007 06 2 P1) ISBN 978-92-821-0153-7

**Transport, formes urbaines et croissance économique. Série CEMT – Table Ronde 137ème (2007)**  
(74 2007 07 2 P1) ISBN 978-92-821-0166-7

**Biocarburants : Lier les politiques de soutien aux bilans énergétiques et environnementaux. Série FIT – Table Ronde 138ème (2008)**  
(75 2008 02 2 P1) ISBN 978-92-82-10181-0

**Pétrole et transports : La fin des carburants à prix abordable ? Série FIT – Table Ronde 139ème (2008)**  
(74 2008 03 2 P1) ISBN 978-92-82-10251-0

*Vous pourrez recevoir par email des informations sur les nouvelles publications de l'OCDE en vous inscrivant sur [www.oecd.org/OECDdirect](http://www.oecd.org/OECDdirect)*

*Vous pourrez les commander directement sur [www.oecd.org/bookshop](http://www.oecd.org/bookshop)*

*Vous trouverez des informations complémentaires sur le FIT sur [www.internationaltransportforum.org](http://www.internationaltransportforum.org)*

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16  
IMPRIMÉ EN FRANCE  
(74 2008 04 2 P) ISBN 978-92-821-0184-1 - n° 56290 2008

## **BÉNÉFICES ÉCONOMIQUES ÉLARGIS DU SECTEUR DES TRANSPORTS**

### **INSTRUMENTS D'INVESTISSEMENT ET D'ÉVALUATION MACRO-, MÉSO- ET MICRO-ÉCONOMIQUES**

L'analyse coûts-avantages classique des projets d'investissement dans les infrastructures de transport consiste à mettre en balance les coûts des projets avec les avantages que l'on peut en escompter pour l'utilisateur. Cette démarche a été remise en question au motif qu'elle ne tient pas compte des effets économiques plus larges de ces projets. Or, des données concrètes indiquent que ces effets peuvent être considérables, de sorte que ce type d'évaluation peut induire en erreur.

À l'occasion de cette Table Ronde, d'éminents universitaires et professionnels ont échangé leurs vues sur la question et ont examiné diverses méthodes possibles pour évaluer les effets plus larges – négatifs comme positifs. Ils sont ainsi parvenus à la conclusion que pour les projets de petite envergure, il est préférable de privilégier l'obtention de résultats dans les délais voulus, même s'il faut pour cela renoncer à une analyse plus poussée des effets plus larges des projets. En revanche, s'agissant de projets ou de programmes d'investissement de plus grande ampleur, une analyse spécifique de leurs effets plus larges se justifie davantage. L'élaboration de procédures d'évaluation uniformes doit être un domaine de recherche prioritaire.



[www.internationaltransportforum.org](http://www.internationaltransportforum.org)

éditions **OCDE**  
[www.oecd.org/editions](http://www.oecd.org/editions)

(74 2008 04 2 P1) ISBN 978-92-821-0184-1

