



ORGANISATION DE COOPÉRATION
ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES



CONFÉRENCE EUROPÉENNE
DES MINISTRES DES TRANSPORTS

**INVESTISSEMENTS
EN INFRASTRUCTURES DE
TRANSPORT ET PRODUCTIVITÉ
DE L'ÉCONOMIE**

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

132

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

RAPPORT DE LA
CENT TRENTE DEUXIÈME TABLE RONDE
D'ÉCONOMIE DES TRANSPORTS

INVESTISSEMENTS EN INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET PRODUCTIVITÉ DE L'ÉCONOMIE



ORGANISATION DE COOPÉRATION
ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES



CONFÉRENCE EUROPÉENNE
DES MINISTRES DES TRANSPORTS

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.

CONFÉRENCE EUROPÉENNE DES MINISTRES DES TRANSPORTS (CEMT)

La Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT) est une organisation intergouvernementale, créée par un Protocole signé à Bruxelles le 17 octobre 1953. Elle rassemble les ministres des Transports des 44 pays suivants qui sont Membres à part entière de la Conférence : Albanie, Allemagne, Arménie, Autriche, Azerbaïdjan, Bélarus, Belgique, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, ERY Macédoine, Finlande, France, Géorgie, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Moldavie, Monténégro, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, République tchèque, Turquie et Ukraine. Sept pays ont un statut de Membre associé (Australie, Canada, Corée, États-Unis, Japon, Mexique et Nouvelle-Zélande), le Maroc bénéficiant d'un statut de Membre observateur.

La CEMT constitue un forum de coopération politique au service des Ministres responsables du secteur des transports, plus précisément des transports terrestres ; elle leur offre notamment la possibilité de pouvoir discuter, de façon ouverte, de problèmes d'actualité concernant ce secteur et d'arrêter en commun les principales orientations en vue d'une meilleure utilisation et d'un développement rationnel des systèmes de transport européen.

Dans la situation actuelle, la CEMT a deux rôles primordiaux. La première tâche qui lui revient consiste principalement à faciliter la mise en place d'un système paneuropéen intégré des transports qui soit économiquement efficace et réponde aux exigences de durabilité en termes d'environnement et de sécurité. À cette fin, il incombe notamment à la CEMT d'établir un pont, sur le plan politique, entre l'Union européenne et les autres pays du continent européen. Par ailleurs, la CEMT a également pour mission de développer des réflexions sur l'évolution à long terme du secteur des transports et de réaliser des études approfondies sur le fonctionnement de ce secteur face notamment à la mondialisation croissante des échanges.

En janvier 2004, la CEMT et l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) ont fusionné leurs activités de recherche en créant le Centre Conjoint de Recherche sur les Transports. Le Centre mène des programmes de recherche coopératifs couvrant tous les modes de transport terrestre et leurs liaisons intermodales, recherches qui soutiennent la formulation des politiques dans les pays Membres.

Lors de la session de Dublin en mai 2006, les Ministres ont décidé d'une réforme majeure visant à transformer cette organisation en une entité mondiale dont le champ de compétences s'étendra à tous les modes de transports. Le but de ce nouveau Forum international des transports est d'attirer l'attention au plus haut niveau international sur les politiques des transports. Le Forum permettra chaque année aux Ministres des transports et à d'éminents représentants de la société civile de discuter de thèmes d'importance stratégique mondiale. L'année 2007 constituera une année de transition pour la mise en place de ce Forum dont les nouvelles structures devraient être totalement opérationnelles à compter de 2008.

Publié en anglais sous le titre :

Transport Infrastructure Investment and Economic Productivity

Des informations plus détaillées sur la CEMT sont disponibles sur Internet à l'adresse suivante :

www.cemt.org

© CEMT 2007 – Les publications de la CEMT sont diffusées par le Service des Publications de l'OCDE,
2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16, France

TABLE DES MATIÈRES

RAPPORTS INTRODUCTIFS

Infrastructures de transport, productivité et externalités - par C. HULTEN (États-Unis)... 7

1. Infrastructures de transports et productivité : historique	11
2. Voies d'impact des infrastructures dans la structure de la production	14
3. Résultats empiriques : Inde	15
4. Comparaisons internationales	17
5. Relation infrastructures-productivité : cas de l'Inde	18
6. Relation infrastructures-productivité : cas des États-Unis et de l'Espagne	19
7. Conclusions	20

Le taux de rendement des infrastructures de transport - par D. CANNING (États-Unis) et E. BENNATHAN (Royaume-Uni) 31

1. Introduction	36
2. L'effet des infrastructures sur la production globale	38
3. Le coût des infrastructures	46
4. Le taux de rendement des infrastructures	49
5. Conclusion	56

Incidence des investissements routiers sur la productivité macroéconomique – Réévaluation du cas de l'Europe occidentale - par A. KOPP (OCDE/CEMT) 79

1. Introduction	83
2. Présentation du modèle	86
3. Données et questions économétriques	90
4. Résultats	91
5. Conclusions	98

SYNTHÈSE DE LA DISCUSSION

(Débats de la Table Ronde sur les rapports)	103
---	-----

LISTE DES PARTICIPANTS.....	119
------------------------------------	------------

INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT, PRODUCTIVITÉ ET EXTERNALITÉS

Charles R. HULTEN
Université du Maryland
et National Bureau of Economic Research
COLLEGE PARK
ÉTATS-UNIS

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	11
1. INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS ET PRODUCTIVITÉ : HISTORIQUE.....	11
2. VOIES D'IMPACT DES INFRASTRUCTURES DANS LA STRUCTURE DE LA PRODUCTION	14
3. RÉSULTATS EMPIRIQUES : INDE.....	15
4. COMPARAISONS INTERNATIONALES.....	17
5. RELATION INFRASTRUCTURES-PRODUCTIVITÉ : CAS DE L'INDE.....	18
6. RELATION INFRASTRUCTURES-PRODUCTIVITÉ : CAS DES ÉTATS-UNIS ET DE L'ESPAGNE	19
7. CONCLUSIONS	20
NOTES	22
TABLEAUX.....	24
BIBLIOGRAPHIE.....	29

College Park, août 2004

RÉSUMÉ

Le présent rapport fait la synthèse des conclusions de trois études qui analysent les liens observables entre les investissements en infrastructures de transport et la hausse de la productivité du secteur manufacturier aux États-Unis, en Espagne et en Inde. Il vise à : 1) cerner l'impact de ces investissements sur la croissance de ce secteur d'importance stratégique ; 2) analyser leurs effets interrégionaux et, plus particulièrement, leur contribution éventuelle à la convergence des régions et à la redistribution des activités économiques ; et 3) évaluer l'ampleur des externalités que ces investissements induisent dans l'industrie manufacturière. Cette dernière question revêt une importance particulière pour la politique des infrastructures, parce que ces externalités induites restent généralement ignorées dans les analyses formelles des projets d'investissement et que cette ignorance laisse entrevoir des possibilités de sous-investissement. L'étude comparative de trois pays arrivés à des niveaux différents de développement économique permet en outre, en faisant appel à quasiment un seul et même modèle, de voir si l'impact des investissements en infrastructures varie en fonction du niveau de développement et de l'extension des réseaux d'infrastructures préexistants. Ces questions sont d'abord replacées dans le cadre des publications qui traitent d'infrastructures et de productivité.

1. INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET PRODUCTIVITÉ : HISTORIQUE

L'idée que les infrastructures de transport sont une espèce de dépenses en capital différente des autres s'est imposée dans les domaines du développement économique, de la théorie des localisations, de l'économie urbaine et régionale et, évidemment, de l'économie des transports. Dans un ouvrage aujourd'hui rangé au nombre des classiques, Albert O. Hirschman (1958) voit dans les systèmes d'infrastructures de transport des "équipements collectifs sociaux" pour les distinguer des autres équipements (bâtiments, machines, etc.) que les entreprises utilisent pour produire leurs biens et leurs services et qu'il appelle "actifs directement productifs"¹. Hirschman considère que les équipements collectifs sociaux se distinguent des actifs directement productifs par le quadruple fait que ces équipements collectifs sociaux : 1) servent de socle et de catalyseur à une multitude d'activités économiques ; 2) sont normalement fournis par le secteur public ou des entreprises privées réglementées ; 3) ne peuvent pas être importés ; et 4) sont "massifs" en ce sens qu'ils sont techniquement indivisibles. Il avance également que les investissements en équipements collectifs sociaux ont pour fonction de "donner le branle" aux actifs directement productifs et valent d'être effectués pour la raison non pas qu'ils influent directement sur la production finale, mais qu'ils autorisent et, en fait, poussent les actifs directement productifs à jouer leur rôle (p. 84).

Une présentation plus moderne de ces questions pourrait sans doute modifier ces idées, mais ne les rejetterait pas tout à fait. Les deux premières caractéristiques, par exemple, se redéfiniraient ainsi aujourd'hui en termes d'externalités induites, à la lumière de la théorie économique des biens partiellement publics aussi appelés biens de "club". Les routes sont en effet des équipements que de multiples utilisateurs utilisent simultanément à de nombreuses fins différentes. Contrairement aux investissements en actifs immédiatement productifs "privés", l'optimisation de leur utilisation impose de faire la somme des avantages procurés à tous les utilisateurs différents (les "membres du club"), en les corrigeant des effets de la congestion. Il est notoirement difficile d'appréhender la structure complexe des avantages procurés par un bien de club, et ce d'autant plus que ce genre de biens exerce un effet déclencheur sur l'évolution de l'économie. L'exemple des chemins de fer transcontinentaux américains qui ont désenclavé l'Ouest du pays au milieu du 19^{ème} siècle est là pour prouver combien il est difficile de mesurer la valeur d'un projet qui a façonné l'histoire et l'évolution de tout un pays.

Le problème du club peut être résolu en partie en se limitant au côté "production" de l'économie où l'impact plus ou moins immédiat des infrastructures collectives sociales sur l'augmentation de la production est plus facilement quantifiable. Cet objectif plus limité est le sujet général de la présente Table Ronde et l'objet central des études empiriques décrites dans le présent document.

Le premier grand ouvrage empirique à avoir ainsi approché les choses sous l'angle de la production est généralement attribué à David Aschauer (1989a, 1989b) qui a établi des fonctions de production globale pour les États-Unis dans lesquelles figure une variable représentative des équipements publics. L'estimation de l'impact des infrastructures ainsi obtenue a de quoi surprendre : l'élasticité de la production par rapport aux variables représentatives des équipements publics utilisées dans ces études va de 0.36 à 0.56, ce qui, d'après les estimations de Gramlich (1994), se traduit en un rendement de 100 pour cent ou davantage par an et un temps de retour d'un an ou moins. Ces chiffres apparemment irrationnels seraient sans doute tombés dans l'oubli, si les travaux d'Aschauer n'avaient pas été rapidement suivis d'autres études qui semblaient confirmer ces chiffres élevés. De tels chiffres ne sont crédibles que si les procédures classiques d'évaluation microéconomique des projets sont passées à côté d'externalités importantes et ont été ainsi à l'origine de sous-investissements massifs dans ces systèmes. La construction des chemins de fer transcontinentaux américains est souvent citée comme exemple de déroulement possible d'un tel scénario.

Ces ouvrages ont été considérés à l'époque comme autant de confirmations de la validité de l'idée que les études de la productivité macroéconomique pouvaient déceler ce que les microétudes des infrastructures publiques laissaient dans l'ombre, sans que soit cependant chiffrée l'ampleur des externalités présomptives. Il n'est donc pas étonnant que ces chiffres aient donné lieu à de multiples autres recherches et Gramlich observe d'ailleurs que "40 autres études économétriques au moins utilisant des données et des techniques différentes" ont vu le jour entre la publication de la première étude d'Aschauer et celle de l'article qui en fait la critique. Il allègue également qu'au cours de cette période "la bulle a grossi et pourrait même être près d'éclater" (p. 1 177), parce que les dernières recherches montrent que la méthode fondée sur la fonction de production globale s'appuie sur des bases économétriques fragiles et est sensible aux modifications de la technique d'évaluation, de la portée de l'évaluation et des données sur lesquelles elle repose. Les estimations qui prennent en compte les "différences premières" des données débouchent ainsi souvent sur des chiffres beaucoup moins élevés que les estimations "en instantané", si ce n'est sur des chiffres statistiquement non significatifs. Il en va presque de même en cas d'utilisation de "données de panel" présentant une dimension régionale. L'estimation directe du lien entre les infrastructures et la production souffre d'un problème de "causalité inverse". S'il est vrai que les investissements en infrastructures de transport et autres débouchent sur (entraînent) une augmentation de la production nationale, il n'est pas moins vrai que l'augmentation du volume de la production amène à investir davantage dans ces systèmes.

Affirmer que la corrélation statistique entre les infrastructures et la production est imputable entièrement aux infrastructures équivaut, non seulement à commettre le péché économétrique de distorsion des équations simultanées, mais aussi à surévaluer le rendement des infrastructures publiques.

Des études économétriques récentes faisant appel à des fonctions plus souples débouchent sur des taux de rentabilité plus proches de ceux qui s'observent normalement. Nadiri et Mamuneas (1994) estiment ainsi, en utilisant une fonction de coût souple, que le taux de rendement "social" annuel moyen des infrastructures a été de 7.2 pour cent dans l'industrie manufacturière américaine entre 1955 et 1986, alors que le taux de rendement annuel du capital privé s'élevait à 8.7 pour cent. Ils font aussi état, dans d'autres ouvrages de la même veine, de taux plausibles de rendement des investissements en infrastructures routières qui vont diminuant à mesure que le programme routier national arrive à maturité.

La spécification des modèles continue toutefois à compliquer sérieusement l'application des techniques fondées sur l'utilisation de fonctions de production. Il faut en effet spécifier les modèles de telle sorte que les effets d'externalité soient isolés et, ce qui est beaucoup plus compliqué encore, tenir compte du fait que la plupart des infrastructures de base, notamment les systèmes de transport, se présentent sous la forme de réseaux géographiquement étendus d'équipements individuels et que la quantité totale des équipements dont ces réseaux se constituent n'est donc pas un indicateur suffisant de la capacité productive. Contrairement à la majorité des actifs directement productifs, le produit marginal des équipements constitutifs des réseaux varie en fonction de la composante du système à laquelle l'investissement de renforcement profite plutôt que du seul volume des équipements préexistants (Hulten, 1994). Il s'en suit que l'addition d'une variable représentative des infrastructures existantes à une fonction de production biaise la spécification des modèles, si la variable est mesurée comme le sont les actifs directement productifs privés.

La conséquence pratique de cette erreur de spécification est que le paramètre (élasticité) associé aux équipements constitutifs du réseau varie en fonction de l'évolution du réseau et peut être très élevé dans certains cas et nul dans d'autres. Les investissements de renforcement peuvent ainsi avoir un rendement très élevé pendant le temps où le réseau est renforcé pour remédier à ses insuffisances en termes de capacité ou de couverture. Il est toutefois fréquent que, pour des raisons de coût, le renforcement des capacités s'opère avant qu'une période d'expansion en fasse naître le besoin, auquel cas l'investissement de renforcement des capacités n'a pas d'incidence directe sur la production et paraît donc avoir un produit marginal (taux brut de rendement) nul. Une situation comparable peut se présenter dans des réseaux matures, avant que les problèmes de capacité (congestion, goulets d'étranglement, etc.) surgissent : les investissements de renforcement tendent dans ce cas à se présenter sous la forme d'un aménagement de liaisons qui se substituent à d'autres au lieu de les compléter comme pendant les premières phases de construction et à avoir un produit marginal peu élevé. Ces investissements peuvent en revanche entraîner la migration de certaines activités économiques d'un point du réseau vers un autre, avec augmentation nette faible ou nulle de la production globale.

Ces idées servent de toile de fond aux diverses études empiriques analysées dans les chapitres suivants. Ces études se fondent sur un modèle mis au point par Hulten et Schwab (1984, 1991, 2000) pour éluder certains des problèmes économétriques évoqués ci-dessus et, plus particulièrement, isoler les effets d'externalité. Cette approche se focalise sur l'industrie manufacturière plutôt que sur l'ensemble de l'économie et a une dimension tant régionale que chronologique. Elle atténue ainsi le problème de causalité inverse pour les raisons sur lesquelles il sera revenu par la suite. La principale différence entre la méthode Hulten-Schwab et la majorité des ouvrages qui traitent de la fonction de production des infrastructures réside dans le fait qu'elle prend la productivité globale des facteurs plutôt que la production nette comme variable dépendante intéressante. Ce changement d'optique

réduit le poids de la spécification économétrique et des problèmes qui y sont associés, atténue encore le problème de causalité inverse et, surtout, met en mesure d'isoler les externalités d'infrastructure qui affectent l'industrie manufacturière. Cette question est, eu égard à l'importance considérable qu'elle présente pour la politique des infrastructures, étudiée en détail dans le chapitre suivant, avant de passer à la description des données et des résultats.

2. VOIES D'IMPACT DES INFRASTRUCTURES DANS LA STRUCTURE DE LA PRODUCTION

La méthode Hulten-Schwab de définition des externalités pose en hypothèse, en s'inspirant des idées défendues par Meade (1952), que l'impact des investissements en infrastructures emprunte deux voies différentes dans l'industrie manufacturière². Les investissements en infrastructures apportent d'abord des avantages à l'industrie manufacturière par une voie *indirecte*, sous la forme d'intrants achetés aux secteurs intervenant dans la production de services d'infrastructures (pour l'industrie manufacturière, il s'agit principalement de transport et de divers services d'utilité publique). Le secteur des transports combine ainsi les routes à des véhicules, de la main-d'œuvre, du carburant, des entrepôts, etc. pour produire des services de transport vendus à d'autres secteurs. Les producteurs d'électricité combinent de même les services de réseaux d'infrastructures à des actifs directement productifs, de la main-d'œuvre et du combustible pour produire un produit qu'elles vendent directement à d'autres entreprises. Pour l'industrie manufacturière, ces services d'infrastructures sont un intrant intermédiaire acheté aux entreprises productrices d'amont. A mesure qu'ils s'écoulent vers l'aval, les intrants infrastructurels non payés de Meade sont convertis en un facteur de production *payé* dans les entreprises d'aval et tout renforcement quantitatif ou qualitatif du réseau d'infrastructures d'amont se traduit par une réduction du coût des achats intermédiaires de services de transport et d'électricité en aval ou par une amélioration de la qualité ou de la gamme de ces services. Les externalités d'infrastructures d'amont sont en tout état de cause internalisées dans le marché des services achetés au moment où ils arrivent chez leur utilisateur d'aval.

Si telle était la seule voie par laquelle les infrastructures influent sur la production manufacturière, les externalités n'auraient pas ou guère de rôle à jouer dans ce secteur. Les infrastructures peuvent toutefois exercer un impact sur l'industrie manufacturière par une seconde voie *indirecte*, celle des externalités des réseaux. Une augmentation de capacité réalisée en un point d'un réseau existant d'infrastructures peut avoir des retombées sur l'ensemble de ce réseau en lui ajoutant des liaisons très importantes, en prolongeant des liaisons importantes existantes ou en éliminant des goulets d'étranglement. Ces retombées peuvent se répercuter sur certains secteurs industriels, tels que l'industrie manufacturière par de multiples chemins indirects familiers à la théorie des localisations et à la géographie économique (Krugman, 1998). Le renforcement de systèmes de transport peut, entre autres choses, déboucher sur une extension des marchés des produits et des moyens de production qui peut générer des gains d'efficacité en ouvrant la voie aux économies d'échelle et à l'accès à des moyens de production spécialisés. Il peut aussi conduire à une concentration de la production en divers points du réseau, avec tout ce que cela peut impliquer d'économies d'échelle et de gamme, tandis qu'une amélioration des services de transport peut aussi induire une redistribution de la production le long des axes du réseau en offrant la possibilité d'exploiter des ressources locales spécialisées et de profiter de coûts régionaux moins élevés des facteurs (un effet qui pourrait toutefois n'être que

temporaire) ainsi que d'un climat fiscal ou législatif plus favorable. Ces effets systémiques tendent, enfin, à faire augmenter directement la productivité globale par utilisation de technologies plus avancées (gestion des stocks en flux tendus, etc.). Les effets qui s'exercent par cette seconde voie sont extérieurs aux entreprises établies en un point du réseau et, contrairement à ceux qui empruntent la première voie, opèrent pour l'essentiel en dehors du marché sans se refléter dans les prix.

Il est possible de donner à ces voies une forme analytique plus précise en utilisant les fonctions de production qui sous-tendent l'analyse descriptive. Il faut, pour le comprendre, imaginer une économie dont les deux seuls produits seraient les services de transport T et le bien manufacturé Q . La production des services de transport s'exprime par la formule $T = T(D_T, B)$, dans laquelle D_T représente le facteur primaire utilisé par le secteur et B le réseau de transport, la technologie nécessaire au produit manufacturé étant donnée par la formule $Q = F(D_Q, T)$ dans laquelle D_Q représente le facteur primaire et T le service de transport acheté à l'autre secteur. La fabrication n'utilise pas le réseau de transport comme facteur primaire. L'impact des infrastructures de transport, ou en l'espèce des biens manufacturés, s'exerce entièrement par le canal des achats du bien intermédiaire de transport T effectués par ce secteur, soit $\Delta Q/\Delta B = (\delta Q/\delta T)\Delta T/\Delta B$. Cet impact emprunte la première voie définie ci-dessus et il n'y a pas en ce cas d'impact qui s'exerce par la seconde ($\delta Q/\delta B$).

Les impacts qui s'exercent par la seconde voie sur la production de biens manufacturés peuvent se modéliser en introduisant une variable "à valeur instantanée" $A(B)$ dans la fonction de production de ces biens. Cette autre spécification technologique peut alors s'exprimer par la formule $Q = A(B)F(D_Q, T)$. Le renforcement des infrastructures influe indirectement sur la production en permettant d'utiliser plus efficacement les facteurs D_Q et T qui ont été achetés. Les infrastructures de transport agissent en outre maintenant par les deux voies décrites ci-dessus : $\Delta Q/\Delta B = [(\delta Q/\delta T)\Delta T/\Delta B] + (\delta Q/\delta B)$, à savoir par la voie du marché en premier lieu et sous la forme d'une externalité agissant en dehors de celui-ci en deuxième lieu³.

Le modèle décrit dans le chapitre suivant affine ce cadre rudimentaire. Il doit servir essentiellement à estimer l'élément $F(D_Q, T)$ de la fonction de production manufacturière séparément en recourant à une méthode non économétrique "d'indices" pour isoler la fonction $A(B)$ de la variable "à valeur instantanée" représentative des externalités de la seconde voie.

3. RÉSULTATS EMPIRIQUES : INDE

Les études empiriques portant sur l'Inde et les États-Unis se fondent sur une forme plus élaborée du modèle décrit dans le chapitre précédent. La fonction de production des biens manufacturés utilisée pour l'analyse se présente sous la forme suivante :

$$(1) \quad Q_{i,t} = A_{i,t}(B) F^i(K_{i,t}, L_{i,t}, M(B)_{i,t})$$

équation dans laquelle Q représente la production brute, M les intrants intermédiaires, L le facteur travail, K le capital (hors infrastructures) privé et B les infrastructures existantes. Les variables et les sous-fonctions peuvent avoir une dimension chronologique "t" et une dimension régionale "i". La variable "à valeur instantanée" $A_{i,t}(B)$ est définie par l'équation suivante :

$$(2) \quad A_{i,t}(B) = A_{i,0} e^{\lambda_i t} B_{i,t}^{\gamma_i}$$

Cette équation fait de l'efficacité productive une fonction multiplicatrice du niveau initial d'efficacité $A_{i,0}$ dans chaque région, du taux annuel moyen λ_i , déterminé de façon exogène, de progrès technique enregistré dans chaque région et de l'effet d'externalité des infrastructures de la seconde voie dont l'élasticité γ_i est considérée comme invariable dans le temps, mais variable selon les régions.

La forme multiplicative des équations (1) et (2) se retrouve dans tous les ouvrages qui traitent du résidu de Solow qui permet d'estimer la variable "à valeur instantanée" en travaillant avec des indices (plutôt qu'en appliquant des techniques économétriques directement à la fonction de production). La "productivité globale des facteurs" de Solow se définit classiquement comme étant le rapport de la production totale à l'ensemble des moyens de production et peut donc s'exprimer, en reprenant les termes de la fonction de production ci-dessus, par l'équation $TP_{i,t} = Q_{i,t}/F(K_{i,t}, L_{i,t}, M_{i,t})$. La productivité globale des facteurs (qui équivaut en fait à la "productivité globale" dans le présent contexte, parce qu'elle se fonde sur la production brute et les intrants intermédiaires)⁴, est donc directement liée aux paramètres intéressants de $A_{i,t}(B)$. Sous forme logarithmique, la productivité peut s'exprimer comme suit :

$$(3) \quad \ln TP_{i,t} = \ln A_{i,0} + \lambda_i t + \gamma_i \ln B_{i,t}$$

Cette équation a ceci d'utile qu'elle isole le paramètre intéressant γ_i , sous une forme qu'il est possible d'estimer, si l'on dispose d'estimations de ces deux grandeurs mesurables que sont la productivité globale et les infrastructures existantes. Elle constitue la base des résultats empiriques indiqués ci-dessous.

La variable "productivité globale" requise pour (3) se calcule en deux étapes. La première consiste à calculer le taux de rentabilité par la méthode du résidu de Solow, c'est-à-dire en soustrayant le taux de croissance des intrants (L, K, M), pondéré pour chacun d'eux sur la base de leur contribution au revenu global, du taux de croissance de la production brute réelle (Q)⁵. Cette estimation résiduelle du *taux de croissance* de la productivité globale doit alors être convertie en niveaux. Cela permet de donner une valeur à la variable $TP_{i,t}$ dans l'équation 3 pour chaque année et chaque région et d'analyser dans la foulée l'évolution régionale de la productivité.

Hulten, Bennathan et Srinivasan (2003) appliquent ce mode de calcul au secteur manufacturier indien en utilisant des données tirées des statistiques industrielles nationales indiennes pour les années 1972 à 1993. Ces statistiques donnent des chiffres annuels (en prix courants) pour la production brute, les intrants intermédiaires, l'utilisation de la main-d'œuvre et la valeur comptable du patrimoine des entreprises manufacturières inscrites au registre des entreprises conformément aux dispositions de la loi sur les établissements industriels, c'est-à-dire en fait les plus grandes entreprises manufacturières du pays. La valeur attribuée à la production et aux moyens de production a alors été convertie en prix constants (réels) en utilisant un nouvel indice d'ajustement du prix de la production que les auteurs de l'étude ont élaboré, parce que les précédents avaient été jugés inadéquats. Les taux de croissance calculés de la sorte pour l'ensemble du secteur manufacturier sont réunis dans les colonnes du Tableau 1, tandis que les niveaux estimatifs de productivité figurent dans le Tableau 2.

Le Tableau 1 fait apparaître que la production brute réelle a augmenté sans discontinuer de plus de 7 pour cent par an pendant les deux décennies étudiées. Il montre aussi que l'augmentation des moyens de production est à l'origine de la plus grande partie de l'augmentation de la production et que la productivité n'y est pas pour beaucoup. Étant donné que cette estimation de la productivité englobe les externalités γ_i associées aux infrastructures de transport, elle semble ne guère ouvrir de perspectives à cet effet. Le taux (0.5 pour cent) annuel d'augmentation de la productivité peut sembler

faible, mais il ne paraît faible que parce qu'il mesure l'impact de l'innovation et des investissements en infrastructures sur une large gamme d'intrants. Exprimé en valeur ajoutée, comme dans la deuxième colonne du Tableau 1, le résidu de productivité atteint une valeur plus classique et tout à fait respectable de deux pour cent⁶.

Le Tableau 1 donne les taux annuels d'augmentation de la productivité (dans ses deux acceptions) de l'industrie manufacturière de *tous* les États de l'Inde combinés et ne propose donc pas de dimension régionale. Comme l'objectif ultime est d'isoler la contribution des infrastructures à la productivité de l'industrie manufacturière, l'inégalité des régions géographiques en termes de productivité et d'infrastructures est une source potentiellement importante de variation. Un Tableau des sources de la croissance comparable au Tableau 1 a donc été dressé pour chacun des 16 États étudiés et les résultats de l'exercice ont été rassemblés dans le Tableau 2 pour les États de l'Inde, en les groupant en trois catégories sur la base de leur niveau initial de productivité. Les cinq États les moins bien classés sur cette base ont enregistré un taux d'augmentation plus élevé tant de leur production brute que de leur productivité à tel point que les États dont le niveau de productivité était au départ le plus faible avaient pu combler une partie (mais non la totalité) de leur retard sur les leaders en 1992. Cette convergence régionale s'est opérée au prix d'une forte augmentation de la production dans toutes les régions, sans grands transferts nets des activités industrielles entre les groupes supérieur et inférieur de régions. L'évolution est totalement différente de celle qui a été observée aux États-Unis.

4. COMPARAISONS INTERNATIONALES

Les chiffres indiens ont été calculés par la méthode qui avait été mise au point pour l'industrie manufacturière des États-Unis. Les sources de croissance identifiées par Hulten et Schwab (2000) pour les États-Unis figurent dans le Tableau 1. Les chiffres, tirés du "*Census of Manufactures*" (recensement des entreprises manufacturières) et des "*Annual Surveys of Manufactures*" (statistiques annuelles des entreprises manufacturières), font apparaître une croissance différente de celle qu'a connue l'Inde : la croissance de la production est nettement moindre aux États-Unis et est alimentée principalement par des gains de productivité, l'augmentation du recours au facteur "travail" étant au contraire légèrement négative.

Le Tableau 3 distribue la croissance de la production manufacturière américaine entre les régions. Les neuf régions identifiées dans l'étude d'Hulten et Schwab (2000) ont été regroupées en deux grandes régions "Nord" et "Sud" pour mettre en lumière le principal phénomène révélé par l'analyse, à savoir la migration de l'activité manufacturière de ses anciennes bases du Nord-Est et du centre des États-Unis (région Nord) vers le Sud et l'Ouest du pays (région Sud) après la Deuxième Guerre Mondiale. Cette migration a fait l'objet, pour des raisons que le Tableau 3 permet de comprendre, de nombreuses réflexions au cours des années 70 et 80 pendant lesquelles l'augmentation de la production et des intrants a été beaucoup plus forte dans le Sud. Le facteur travail en particulier accuse une croissance négative dans le Nord et n'enregistre pas de croissance nette dans l'ensemble, une évolution qui amène à conclure à l'existence d'importants mouvements de migration de l'activité manufacturière.

Le Tableau donne certaines des causes de ces migrations. Le Sud a connu pendant toute la période un taux de rendement du capital privé plus élevé et des salaires moins élevés qui le rendaient intéressant pour les entreprises. La « *stagflation* » de l'époque a en outre empêché les travailleurs de s'opposer avec vigueur au déménagement des entreprises vers les zones à faible salaire et haut rendement. Les équipements collectifs publics, mesure des "infrastructures" utilisée dans la présente étude, ont aussi augmenté nettement plus rapidement dans le Sud. Les infrastructures de transport sont un des composants les plus importants de ces équipements. Hulten et Schwab affirment dans une étude antérieure (1991) que le taux d'augmentation des dépenses routières a également été beaucoup plus élevé dans le Sud et il convient de signaler que le programme américain de renforcement du réseau de routes nationales lancé au cours des années 50 a presque entièrement été mené à son terme au cours de cette période et a certainement joué un rôle dans la migration interrégionale de la base manufacturière (comme la théorie des localisations le donnait d'ailleurs à penser).

L'inégalité de la productivité des régions *n'est pas*, le fait est digne d'être souligné, une cause déterminante de l'inégalité des croissances régionales⁷. La productivité globale de l'industrie manufacturière atteint des niveaux à peu près identiques dans toutes les régions, tant au début qu'à la fin de la période étudiée. Les entreprises manufacturières opèrent à des niveaux moyens de productivité largement identiques dans tous les États-Unis. Le fait va de pair avec une dissémination rapide des avancées technologiques dans toutes les régions, mais ne cadre pas avec ce qui s'est passé en Inde où l'inégalité préexistante des niveaux de productivité s'est réduite au cours de la période étudiée.

Mas *et al.* (1998) ont appliqué la méthode des indices utilisée pour les États-Unis et l'Inde à l'Espagne. Leur étude porte sur l'ensemble de l'économie plutôt que sur la seule industrie manufacturière et ne permet donc pas, contrairement aux études américaine et indienne, d'isoler les externalités de la deuxième voie. Elle utilise toutefois, à l'instar de ces études américaine et indienne, la productivité plutôt que la production comme variable intéressante, ce qui permet de tirer certains enseignements de la comparaison des trois études. L'allure de la croissance de l'économie espagnole telle qu'elle apparaît dans le Tableau 1 est en fait assez semblable à celle du secteur manufacturier américain en ce sens que l'amélioration de la productivité se révèle être le facteur principal de la croissance de la production et que le rôle du facteur travail est insignifiant. Le niveau de productivité varie toutefois d'une région de l'Espagne à l'autre, mais tend à s'uniformiser au cours de la période étudiée.

5. RELATION INFRASTRUCTURES-PRODUCTIVITÉ : CAS DE L'INDE

Les chiffres des Tableaux 1 et 2 permettent d'étudier la relation que l'équation n° 3 établit entre le niveau de productivité et les infrastructures existantes. Conformément aux idées développées par Hall (1988), l'équation a été affinée pour pouvoir tenir compte d'une augmentation éventuelle du rendement d'échelle et de la distorsion possible de la méthode du résidu de Solow par une fixation non concurrentielle des prix (problème tenu pour être très caractéristique des marchés des pays en développement). Le paramètre λ_i de l'externalité a été censé être le même pour toutes les régions dans la variante de l'analyse économique schématisée dans le Tableau 4 et a été calculé en utilisant un modèle à effets fixes⁸.

Les chiffres de la première colonne du Tableau 4 montrent que l'effet d'externalité est substantiel et statistiquement significatif. Le Tableau 5 illustre l'incidence de cette estimation de γ sur le rendement brut (produit marginal) des équipements de transport : le taux de rendement passe de 2 pour cent en 1974 à 5 pour cent en 1993. Quoique ce taux soit faible par rapport au rendement global du capital privé (29 pour cent), il n'en reste pas moins impressionnant, puisqu'il ne représente que l'effet d'externalité de la seconde voie qui vient s'ajouter au rendement direct des infrastructures de transport.

Le Tableau 6 donne une autre idée de l'importance de l'effet des infrastructures. Ce Tableau répartit le résidu de la productivité globale mesurée (les 0.04 du Tableau 1) entre les 4 composants qu'il indique et l'effet d'externalité des transports se révèle ainsi intervenir pour près d'un quart dans la croissance de la productivité globale. Exprimée en valeur ajoutée comme dans la deuxième colonne du Tableau 1, l'externalité des transports prend à son compte quelque 0.25 point de pourcentage par an, ce qui est considérable en termes de croissance.

Les autres estimations de régression figurant dans le Tableau 4 sont statistiquement significatives et d'un ordre de grandeur classique. L'estimation de l'effet d'échelle implique que le rendement d'échelle augmente légèrement (3.8 pour cent), tandis que le paramètre "de dépassement du coût" laisse entendre que le prix dépasse le coût marginal de 8.2 pour cent.

Ces chiffres ne représentent qu'une partie de ceux que donnent Hulten, Bennathan et Srinivasan (2003) et une moindre partie encore de ceux sur lesquels le rapport complet se fonde. Ils ont par exemple analysé aussi le rôle des infrastructures de production d'électricité et trouvé qu'elles avaient également un fort effet d'externalité. Le rendement brut de ces dernières infrastructures a été chiffré à 5 pour cent et le rendement brut combiné des infrastructures de transport et de production d'électricité à 9 pour cent pour 1993. Ventilé comme dans le Tableau 6, cet effet combiné explique environ la moitié de la croissance annuelle de la productivité globale. L'ampleur de cet effet peut sembler excessive (elle pourrait d'ailleurs bien l'être), mais les faits prouvent de façon assez péremptoire que les déficiences des transports routiers et des capacités de production d'électricité ont lourdement pénalisé la croissance économique de l'Inde.

L'analyse part, enfin, de l'hypothèse que les retombées ne franchissent pas les frontières des États fédérés et ne tient pas compte de celles qui débordent sur les États fédérés limitrophes. Si les réseaux routiers et de distribution d'électricité de ces États limitrophes sont inclus dans les calculs, les retombées sont beaucoup plus importantes (12.7 pour cent au total) que dans les cas précédents, mais les seuils de signification sont marginaux, sans doute parce qu'il y a multicollinéarité. Ces chiffres doivent donc être interprétés avec circonspection.

6. RELATION INFRASTRUCTURES-PRODUCTIVITÉ : CAS DES ÉTATS-UNIS ET DE L'ESPAGNE

Hulten et Schwab (2000) ont réalisé une analyse comparable, mais moins approfondie, pour l'industrie manufacturière américaine. Ses conclusions chiffrées les plus importantes sont reproduites dans la deuxième colonne du Tableau 4 qui fait apparaître que l'élasticité estimative γ imputable aux infrastructures est statistiquement nulle. Ceci n'a rien de surprenant au vu du Tableau 3 qui montre que

le niveau de productivité globale ne diffère effectivement pas d'une région à l'autre. Comme la productivité globale constitue la variable dépendante des régressions illustrées dans le Tableau 4, les infrastructures n'ont guère de chance de jouer un rôle dans les comparaisons internationales de l'étude.

Les infrastructures dont il est question dans l'étude américaine englobent tous les équipements publics et couvrent donc une réalité plus large que la variable "transports" de l'étude indienne. Cela étant dit, la comparaison des deux pays autorise à conclure que l'effet des investissements en infrastructures et l'ampleur des externalités non prises en compte dépendent de l'étendue des réseaux préexistants. Étant donné l'interconnexion des réseaux dont il a été question dans les premiers chapitres de la présente étude, il est logique de penser que ces investissements n'ont pas les mêmes retombées dans des milieux urbanisés riches en infrastructures que là où les infrastructures accusent des déficiences significatives. La comparaison des études indienne et américaine renforce cette hypothèse. Les insuffisances et les besoins qui sous-tendent le grand effort accompli par l'Inde pour renforcer son réseau routier dans le cadre de son programme de renforcement du réseau de routes nationales ("Quadrilatère d'or") lui ajoutent encore en vraisemblance.

Les chiffres espagnols ne contribuent guère à confirmer ou infirmer cette dernière hypothèse, parce que l'analyse porte sur l'ensemble de l'économie et que les estimations tirées des régressions ne sont donc pas comparables. Ils confirment néanmoins l'importance générale de la relation entre les infrastructures et la productivité au niveau global d'activité économique dans une économie engagée dans les phases ultimes de son développement.

7. CONCLUSIONS

Les trois études passées en revue dans le présent rapport jettent sur les questions soulevées dans ses premières lignes un éclairage qui a des implications pour la politique des transports. Les faits semblent démontrer que les investissements en infrastructures n'influent pas sur la structure de la croissance économique et que leur impact peut dépendre du niveau de développement économique. Les faits n'ont rien de concluant, mais confirment l'hypothèse théorique de la forte non-linéarité des effets des investissements dans les réseaux de transport : là où les réseaux sont développés comme aux États-Unis, la réduction des coûts de transport a pour effet principal de faire migrer l'activité économique vers les régions où les coûts sont moins élevés sans que la productivité ou même la production globale y gagnent beaucoup, tandis que le renforcement de la capacité de réseaux sous-développés ou congestionnés générera des gains de productivité et une augmentation de la production nette. Les données disponibles donnent à penser que les externalités de la "seconde voie" non prises en compte sont importantes dans ce dernier cas et peuvent être associées à un sous-investissement systémique dans les réseaux. Les trois études semblent toutefois démontrer que les investissements en infrastructures vont de pair avec une uniformisation de la croissance des régions tant riches que pauvres en infrastructures, mais affirmer que les infrastructures sont la cause de la convergence revient à tirer des réalités observables plus que ce qu'elles peuvent vouloir dire.

Ces conclusions ont leur intérêt pour la politique des transports d'une Union Européenne qui s'élargit en intégrant des régions d'Europe centrale et orientale à plus bas salaires. Les études théoriques et les données factuelles examinées dans le présent document font ressortir deux

conséquences importantes de l'amélioration tant des systèmes de transport des nouveaux États membres, que de ceux qui les relient aux anciens. Elles montrent d'abord qu'il faut s'attendre à la migration de certaines industries manufacturières vers les régions à bas salaires. Cette migration est, aux dires de Walter (2004), d'ailleurs déjà engagée :

"La perspective d'une Europe élargie incorporant des dizaines de millions de nouveaux travailleurs mal rémunérés fait craindre à de nombreux Européens de l'Ouest que certains de ces travailleurs émigrent vers l'Ouest en quête d'opportunités économiques. Le processus d'intégration prend en réalité une autre direction : il voit les capitaux prendre la route de l'Est plutôt que les travailleurs celle de l'Ouest. Ces mouvements de capitaux modèlent déjà, bien davantage que les flux de population, l'avenir économique de l'Europe."

Si l'on remplace "Ouest" par "Nord", "Est" par "Sud" et "Europe" par "États-Unis", cette affirmation rappelle le débat soulevé aux États-Unis par le différentiel de croissance entre le Nord et le Sud. Les études théoriques et les données factuelles laissent toutefois aussi augurer d'une expansion bénéfique à l'Union Européenne dans son ensemble. La force relative de ces deux effets contradictoires déterminera dans une large mesure le bilan des avantages et désavantages économiques nets des différentes régions. La question mérite d'être approfondie en mettant l'accent sur les niveaux relatifs de productivité des régions ainsi que sur la relation qui peut exister entre ces niveaux, d'une part, et les salaires régionaux et les coûts des transports interrégionaux, d'autre part.

NOTES

1. Les équipements collectifs sociaux sont généralement censés comprendre tous les services de base sans lesquels les secteurs primaire, secondaire et tertiaire ne peuvent pas fonctionner. Ils englobent ainsi, au sens large, tous les services publics allant des services de maintien de l'ordre aux transports, aux communications et à la distribution d'eau et d'électricité en passant par l'éducation et la santé publique ainsi que des équipements collectifs agricoles tels que les systèmes d'irrigation et de drainage. Ramenée à l'essentiel, la notion peut toutefois ne couvrir que les transports et l'électricité (Hirschman, 1958, p. 83).
2. Meade opère une distinction entre les moyens de production non payés et les externalités induites pures dans le contexte d'une fonction de production, mais ne parle pas vraiment d'infrastructures. Son modèle s'applique toutefois naturellement aux aspects du problème des infrastructures qui touchent à la production, parce qu'il est permis de penser que les infrastructures produisent les deux effets décrits par Meade. L'idée que les infrastructures exercent leurs effets par des voies diverses n'a certainement rien d'inhabituel dans les ouvrages qui traitent de transport et plusieurs taxinomies de ces voies apparaissent d'ailleurs dans des rapports présentés par Berechman (2001) et Prud'homme (2001) au cours de Tables Rondes récentes. La méthode dont il est question ici se distingue par le fait qu'elle montre comment utiliser ces voies pour estimer les externalités qui pèsent sur les industries utilisatrices d'infrastructures.
3. Ce modèle peut aussi servir à expliquer l'incidence d'un investissement en infrastructures sur la croissance et la localisation ($\Delta Q / \Delta B$). Il y a modification de la structure de localisation, quand des investissements en infrastructures induisent un transfert de la production d'un lieu vers un autre. La somme des avantages et inconvénients liés à ces transferts s'annule au total. Il peut néanmoins y avoir aussi augmentation nette des facteurs main-d'œuvre et capital entrant dans la composition de ($\Delta Q / \Delta B > 0$). Ces effets sont liés aux effets "d'allumage" qu'Hirschman attribue aux infrastructures et se reflètent dans le débat soulevé par la question de savoir si les infrastructures exercent un effet dissuasif ou incitateur sur les investissements de capitaux privés. L'analyse peut difficilement être complète, parce que les investissements en infrastructures sont déterminés de façon endogène dans un tel modèle (origine de la causalité inverse évoquée précédemment). Il suffit, pour les besoins courants, de noter que tous ces effets se réfèrent au segment $F(D_Q, T)$ des fonctions de production analysées dans les chapitres suivants et que les résultats obtenus en soustrayant cet élément à l'analyse ne se réfèrent pas à cet aspect des investissements en infrastructures.
4. La productivité globale des facteurs est égale au rapport de la valeur ajoutée en termes réels à un indice des facteurs primaires, à savoir le capital et le travail. Elle mesure essentiellement la productivité de l'ensemble de l'économie. La productivité globale inclut les biens intermédiaires à la fois dans le numérateur et le dénominateur du taux de productivité et se calcule principalement au niveau des branches d'activité. Hulten (2001) propose une

présentation plus complète de la question et, plus généralement, du cadre de productivité de Solow dans son analyse des ouvrages qui traitent de productivité.

5. Cette façon de faire part du principe que le prix des intrants est proportionnel aux produits marginaux, que l'élasticité-production de K, L et M est égale à leur part respective des coûts et que le résidu mesure la valeur instantanée de la fonction de production. Cette hypothèse relative aux prix est le vrai point faible de la méthode du résidu de Solow (Hulten, 2001). Elle a l'avantage de ne pas obliger à spécifier et estimer le segment "intrants" de la fonction de production $F(K_{i,t}, L_{i,t}, M_{i,t})$ et d'éviter ainsi certains des problèmes économétriques qui obscurcissent le ciel des ouvrages qui traitent de la productivité des infrastructures de transport.
6. Les deux concepts de productivité sont mathématiquement liés : le taux d'augmentation de la productivité globale des facteurs est égal à l'augmentation de la productivité totale divisée par la somme des contributions du capital et du travail au revenu (en fait au produit de la division de cette dernière grandeur par 0.20). Un taux d'augmentation de 2 pour cent de la productivité globale des facteurs est tout à fait respectable, si on le compare aux chiffres auxquels Young (1995) est arrivé pour quelques-unes des économies très performantes de l'Est de l'Asie : entre 1966 et 1990, le secteur manufacturier a progressé au rythme de 3 pour cent par an en Corée du Sud et de 1.7 pour cent par an au Taïpeh chinois.
7. Hulten et Schwab constatent également, dans leur étude de 1991, que les taux de croissance de la productivité du Nord et du Sud sont quasi identiques. Cette étude n'a pas appliqué la méthode mise au point pour l'étude de 2000 (qui sert de base aux calculs effectués dans le présent document), parce qu'elle ne portait que sur les taux de croissance et prenait la valeur ajoutée réelle comme image de la production réelle.
8. La valeur de la variable B "infrastructures de transport" a été calculée par approximation au départ des chiffres relatifs aux routes revêtues rassemblés dans les "Statistiques routières annuelles de base de l'Inde" publiées par le Ministère des Transports. Ces statistiques donnent la longueur des catégories de routes revêtues suivantes : routes nationales (grands axes routiers assurant les liaisons entre les États fédérés), routes d'État (grands axes routiers assurant les liaisons à l'intérieur des États fédérés et donnant accès aux routes nationales et aux routes des États fédérés limitrophes) et routes locales (autres routes publiques). Il manque malheureusement de données sur la capacité des routes (nombre de voies) et sur l'utilisation des capacités. La longueur des routes d'État est rapportée à la superficie des États.

TABLEAUX

Tableau 1. Sources de l'augmentation de la production dans trois pays

	Secteur manufacturier indien 1973-1992 Production brute	Secteur manufacturier indien 1973-1992 Valeur ajoutée	Secteur manufacturier américain 1970-1986 Production brute	Économie espagnole 1964-1993 Valeur ajoutée
Production réelle	7.3% ¹	7.1 % ²	2.5 % ¹	3.7 % ²
Matières	7.4%	-	2.0 %	-
Main-d'œuvre	2.1 %	2.1 %	-0.1 %	-0.3 % ³
Capital	6.8 %	6.8 %	2.5 %	1.2 % ³
Ensemble des intrants	6.9 %	5.0 %	%	0.9 %
Productivité	0.4 % ⁴	2.1 % ⁵	1.4 % ⁴	2.8 % ⁵

Sources : Inde : Hulten, Bennathan et Srinisavan (2003) ; États-Unis : Hulten et Schwab (2000) ; Espagne : Mas *et al.* (1998). Les chiffres étant arrondis, les totaux peuvent ne pas correspondre à la somme de leurs composantes.

1. Production brute réelle.
2. Valeur ajoutée en termes réels.
3. Pondéré sur la base de la contribution au revenu.
4. Productivité globale.
5. Productivité globale des facteurs.

 Tableau 2. Niveaux et taux de croissance par État
(Classement en trois catégories)

Classement en 1973 ³ Niveau de productivité globale	TAMC ¹ Production brute Q	TAMC ¹ Production totale PG ²	PG ² Niveau 1973	PG ² Niveau 1992
5 États de tête	7.76 %	0.42 %	1.020	1.105
5 États moyens	7.85 %	0.45 %	0.988	1.076
5 États de queue	9.30 %	0.58 %	0.927	1.035

Source : Hulten, Bennathan et Srinisavan (2003).

1. TAMC : taux annuel moyen de croissance.
2. PG : productivité globale.
3. Le classement en trois catégories exclut le Kerala.

Tableau 3. Sources de la croissance, par région¹
Industrie manufacturière américaine
1970-1986

	Région Sud	Région Nord	Total
Taux annuel moyen de croissance :			
de la production brute	3.75%	1.53 %	2.49 %
des intrants intermédiaires	3.20 %	1.02 %	1.99 %
de l'emploi	1.26 %	-1.06 %	-0.08 %
de la consommation de capital	3.54 %	1.57 %	2.46 %
de la productivité globale	1.30 %	1.38 %	1.34 %
Niveau de la productivité globale			
1970	0.9945	1.0027	1.0000
1986	1.2251	1.2505	1.2386
Taux de rendement des capitaux engagés			
1970	16.4 %	15.3 %	15.9 %
1986	10.7 %	9.7 %	10.3 %
Niveau des salaires (indices)			
1970	0.937	1.012	0.970
1986	3.061	3.321	3.177
Taux annuel moyen d'augmentation des équipements publics	2.09 %	1.30 %	1.70 %
Taux annuel moyen d'extension du réseau routier *	1.43 %	0.69 %	1.43 %

Source : Hulten et Schwab (2000).

* L'estimation de ce taux est tirée de Hulten et Schwab (1991).

Tableau 4. **Estimation des variables du modèle de base¹**
Comparaison des trois études
(Élasticités)

	Inde ²	États-Unis ²	Espagne ³
Infrastructures ⁴	0.044 (2.71)	-0.043 (0.58)	0.101 (2.08)
Temps	0.004 (4.81)	0.014 (8.66)	0.024 ⁵
Échelle	0.038 (4.12)	-0.053 (1.24)	0.043 (0.66)
Facteur majorateur	0.082 (7.31)	0.226 (4.14)	n.d.
R au carré	0.809	0.794	0.978

1. t de Student entre parenthèses ; les effets fixes par État ne sont pas indiqués.
2. La variable dépendante est la productivité globale logarithmique.
3. La variable dépendante est la productivité globale logarithmique des facteurs.
4. Les infrastructures se réduisent aux routes nationales et d'État pour l'Inde, mais englobent davantage d'équipements publics pour les États-Unis et l'Espagne.
5. Moyenne arithmétique des régions espagnoles.

Tableau 5. **Comparaison des produits marginaux bruts**
Moyenne de l'industrie manufacturière indienne
(Rendement brut moyen d'une roupie investie)

	1974	1993
Routes	0.02	0.05
Équipements privés	0.29	0.29

Source : Hulten, Bennathan et Srinivisan (2003).

**Tableau 6. Ventilation du taux de croissance de la productivité globale
Moyenne de l'industrie manufacturière indienne pour les années 1973 à 1992
(Taux annuels moyens de croissance)**

Productivité de base	0.30 %
Routes	0.09 %
Sous-total	0.39 %
Effet d'échelle	0.24 %
Effet majorateur et erreur résiduelle	-0.23 %
Sous-total	%
Productivité globale	0.40 %

Source : Hulten, Bennathan et Srinivasan (2003).

BIBLIOGRAPHIE

Aschauer, David A. (1989a), "*Is Public Expenditure Productive?*," *Journal of Monetary Economics*, 23.

Aschauer, David A. (1989b), "*Public Investment and Productivity Growth in the Group of Seven*," *Economic Perspectives*, Federal Reserve Bank of Chicago, 13.

Banque Mondiale (1994), *Rapport sur le développement dans le monde 1994 : Une infrastructure pour le développement*, Banque Mondiale, Washington, D.C.

Berechman, Joseph (2001), "*Transport Investment and Economic Development: Is There a Link?*" *Transport et développement économique, Conclusions de la 119ème Table Ronde d'économie des transports*, Centre de recherches économiques, Conférence Européenne des Ministres des Transports.

Gramlich, Edward M. (1994), "*Infrastructure Investment: A Review Essay*," *Journal of Economic Literature*, 33, 3.

Hall, Robert E. (1988), "*The Relation between Price and Marginal Cost in U.S. Industry*," *Journal of Political Economy*, 96, 5.

Hirschman, Albert O. (1958), *The Strategy of Economic Development*, New Haven: Yale University Press.

Hulten, Charles R. (1994), "*Optimal Growth with Infrastructure Capital: Theory and Implications for Empirical Modeling*," Université du Maryland, non publié.

Hulten, Charles et Robert M. Schwab (1984), "*Regional Productivity Growth in U.S. Manufacturing: 1951-1978*," *American Economic Review*, 74, 1.

Hulten, Charles et Robert M. Schwab (1991), "*Public Capital Formation and the Growth of Regional Manufacturing Industries*," *National Tax Journal*, 44, 4, 1.

Hulten, Charles et Robert M. Schwab (2000), "*Does Infrastructure Investment Increase the Productivity of Manufacturing Industry in the US?*" In: Lawrence J. Lau (ed.), *Econometrics and the Cost of Capital*, MIT Press.

Hulten, Charles R., Esra Bennathan et Sylaja Srinivasan (2003), "*Infrastructure, Externalities, and Economic Development: A Study of Indian Manufacturing Industry*," Banque Mondiale.

Krugman, Paul R. (1998), *Development, Geography and Economic Theory*. Cambridge, Mass: The MIT Press.

Lee, Kyu Sik et Alex Anas (1992), "*Costs of Deficient Infrastructure: The Case of Nigerian Manufacturing*," *Urban Studies*, 29, 7.

Mas, Matilde, Joaquin Maudos, Francisco Pérez et Ezequiel Uriel (1998), "Public Capital, Productive Efficiency and Convergence in the Spanish Regions (1964-93)," *The Review of Income and Wealth*, 44, 3.

Meade, James E. (1952), "External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation," *Economic Journal*, mars.

Nadiri, M. Ishaq et Theofanis P. Mamuneas (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, 1.

Prud'homme, Rémy (2001), in *Transport et développement économique*, Compte rendu de la 119^{ème} Table Ronde d'économie des transports, Centre de recherches économiques, Conférence Européenne des Ministres des Transports.

Solow, Robert M. (1957), "*Technical Change and the Aggregate Production Function*," *Review of Economics and Statistics*, 39.

Walter, Norbert (2004), "*The Unavoidable Pains of a Delayed Reunion*," *International Herald Tribune*, May 13.

Young, Alwyn (1992), "*A Tale of Two Cities: Factor Accumulation and Technical Change in Hong Kong and Singapore*," in Blanchard, O.J., and S. Fisher (eds.), *NBER Macroeconomics Annual 1992*, MIT Press, Cambridge MA.

LE TAUX DE RENDEMENT DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

David CANNING
Harvard School of Public Health
ÉTATS-UNIS

et

Esra BENNATHAN
University of Bristol
ROYAUME-UNI

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	35
1. INTRODUCTION.....	36
2. L'EFFET DES INFRASTRUCTURES SUR LA PRODUCTION GLOBALE	38
2.1. Théorie	38
2.2. Estimations de la fonction de production de Cobb-Douglas.....	41
2.3. Estimations de la fonction de production translog.....	43
3. LE COÛT DES INFRASTRUCTURES	46
3.1. Évaluer le coût des infrastructures	46
3.2. Analyse des données	47
4. LE TAUX DE RENDEMENT DES INFRASTRUCTURES	49
4.1. Estimations des taux de rendement et politique en matière d'infrastructures.....	49
4.2. Calcul des taux de rendement.....	51
4.3. Estimation du taux de rendement de la capacité de production d'électricité	53
4.4. Estimation du taux de rendement des routes revêtues.....	54
4.5. Le taux de rendement du capital	55
5. CONCLUSION	56
NOTES	57
BIBLIOGRAPHIE.....	59
TABLEAUX ET GRAPHIQUES.....	62

Boston, novembre 2004

Le présent document a été établi dans le cadre d'un projet de recherche de la Banque Mondiale intitulé « *Infrastructure and Growth : A Multi-Country Panel Study* » (RPO 680-89), sous l'égide de la Division de l'économie du secteur public du Groupe de recherche sur le développement ainsi que du Département de l'urbanisation, de l'eau et des transports. Les résultats, interprétations et conclusions exposés dans ce document n'engagent que ses auteurs et ne reflètent pas nécessairement les points de vue de la Banque Mondiale, de ses directeurs exécutifs ou des pays qu'ils représentent.

RÉSUMÉ

Nous procédons à l'estimation des taux de rendement sociaux des routes revêtues en analysant leur effet sur la production globale à l'aide de techniques de cointégration. Les résultats obtenus découlent du constat que ces infrastructures sont très complémentaires du capital physique et humain, mais produisent des rendements rapidement décroissants, si leur expansion s'effectue indépendamment du contexte. Autrement dit, il existe un dosage optimal des ressources en capital mises en œuvre et, de ce fait, un pays risque facilement de se trouver excessivement ou insuffisamment doté en infrastructures de transport.

Pour guider l'action des pouvoirs publics, nous comparons le taux de rendement de l'investissement en infrastructures de transport au taux de rendement que nous avons estimé pour le capital dans son ensemble. En raison de la forte complémentarité que nous observons entre le capital physique et le capital humain, et du niveau plus faible des prix des biens d'investissement dans les pays développés, les taux de rendement du capital dans nos calculs sont aussi élevés dans les pays riches que dans les pays les plus pauvres, mais c'est dans la catégorie des pays à revenu intermédiaire que ces taux sont les plus hauts.

Nous nous apercevons que les taux de rendement associés aux investissements en infrastructures routières sont équivalents ou inférieurs à ceux des autres formes de capital dans la plupart des pays. Néanmoins, dans quelques-uns, la pénurie très aiguë de routes revêtues est manifeste et les rendements de l'investissement en infrastructures sont anormalement élevés. Les pays où les infrastructures routières font cruellement défaut se situent tous dans la catégorie des pays à revenu intermédiaire. Ces rendements anormalement élevés témoignent d'un investissement sous-optimal qui, dans le cas des routes revêtues, semble la conséquence d'une période de croissance économique soutenue pendant laquelle l'investissement dans la construction de routes a pris du retard sur les investissements dans d'autres formes de capital. Cet effet est accentué par la faiblesse des coûts de construction des routes observée dans les pays à revenu intermédiaire, par rapport aux pays plus pauvres et plus riches.

Les relations mises en évidence à l'aide de techniques de cointégration, nous les retrouvons avec un modèle de croissance plus classique ; dans ce cas, il apparaît en effet que les rendements des infrastructures de transport sont généralement égaux ou inférieurs aux rendements du capital dans son ensemble, mais plus élevés dans un petit nombre de pays à revenu intermédiaire.

Mots-clés : fonction de production agrégée, productivité, réseaux de transport, électricité.

1. INTRODUCTION

Le secteur public intervient largement depuis toujours dans la construction d'infrastructures. Les tenants du financement public de certains types d'infrastructures justifient leur position au motif qu'il s'agit de biens publics indivisibles, comme les routes rurales, ou de monopoles naturels, comme les réseaux de distribution d'électricité et de lignes téléphoniques terrestres. La prise en charge du financement par le secteur public, souvent en l'absence de mécanismes de fixation des prix obéissant aux lois du marché, a conduit à évaluer les projets en se fondant sur une analyse coûts-avantages, comme il est d'usage à la Banque Mondiale pour ses projets d'infrastructures. Les taux de rendement économiques moyens des projets de la Banque Mondiale ressortaient, dans la période 1983-1992, à 11 pour cent pour les projets du secteur de l'électricité et à 29 pour cent pour la construction de routes (Banque Mondiale, 1994). Ces ordres de grandeurs pourraient être qualifiés de suffisants, mais non d'exceptionnels. Lorsqu'ils sont atteints, de bonnes raisons plaident pour la mise à disposition d'infrastructures, mais rien ne laisse supposer de pénurie grave en ce domaine.

Toutefois, lorsqu'il s'agit de calculer les taux de rendement, l'analyse coûts-avantages pose un certain nombre de problèmes bien connus. En fait, les études qui y font appel s'écartent fréquemment de la méthodologie théoriquement correcte (Little et Mirrlees (1990)). Cependant, même quand elle est correctement appliquée, l'analyse coûts-avantages au niveau microéconomique risque de laisser de côté des avantages importants des infrastructures, s'ils se présentent sous forme d'externalités. Les infrastructures de transport peuvent avoir une grande influence sur la taille des marchés et sur l'aptitude des producteurs à exploiter les économies d'échelle et la spécialisation. Or, il est avantageux que les marchés s'élargissent, en raison de l'intensification de la concurrence et de la contestabilité qui en découlent. En outre, les infrastructures de transport facilitent la diffusion des connaissances et des technologies. Le recours à des modèles qui en tiennent compte est désormais largement répandu dans les travaux menés dans le domaine de la « nouvelle économie géographique » et les données concrètes qui attestent ces retombées sont de plus en plus nombreuses, par exemple dans Krugman (1991, 1996), Borland et Yang (1992), Krugman et Venables (1995), Kelly (1997), Porter (1998), Gallup, Sachs et Mellinger (1999), ainsi que dans Limao et Venables (1999).

D'autres infrastructures, notamment les centrales électriques, devraient occuper une place importante dans les modèles de développement économique de type « *Big Push* », proposés par Murphy Shleifer et Vishny (1989). Si le décollage des pays en développement s'appuie sur des investissements massifs et coordonnés, le financement public de projets d'infrastructures à risque et à grande échelle peut servir de déclencheur à l'investissement privé et permettre à ces pays d'échapper au piège de la pauvreté.

Ce raisonnement met en relief de très grands atouts potentiels des infrastructures, qu'une analyse coûts-avantages classique ne permet ni de saisir, ni d'évaluer. Cela dit, sauf à pouvoir les mesurer par une méthode concluante, nous ne savons pas si l'importance de ces effets justifierait une expansion plus vigoureuse des infrastructures, voire l'adoption d'une politique de développement tirée par les infrastructures. Nous ne savons pas non plus s'il en irait aussi ainsi avec le mouvement général actuel de privatisation de la réalisation des infrastructures ou, pour le moins, de tarification de leur usage

sous une forme ou une autre. Les systèmes de tarification, qu'ils soient publics ou privés, permettent de récupérer au moins partiellement les coûts des projets, mais les prix ne peuvent refléter que les avantages privés. Or, même si la réalisation d'une infrastructure est confiée au secteur privé, il peut s'avérer souhaitable, quand cette infrastructure s'accompagne d'externalités positives importantes, de mettre en œuvre une politique de subventionnement pour s'assurer qu'elle sera dimensionnée comme il convient.

Pour déterminer les avantages des infrastructures, nous estimons une fonction de production agrégée couvrant un groupe de pays dans les 40 dernières années, fonction qui intègre le capital physique et le capital humain en tant que variables explicatives, ainsi que les variables infrastructurelles que nous avons retenues, c'est-à-dire les routes revêtues et la capacité de production d'électricité. Nous calculons ensuite le produit marginal des infrastructures que nous posons égal à leur contribution à la production globale. Bien que cette méthode ne rende pas compte des avantages des infrastructures qui ne transparaissent pas dans le produit intérieur brut (par exemple les gains de temps qui autorisent davantage de loisirs), elle devrait nous permettre de vérifier si les infrastructures ont des effets importants sur la production.

Il est aujourd'hui relativement courant d'utiliser les fonctions de production agrégées pour estimer la contribution des infrastructures (par exemple, Andrews et Swanson (1995), Boarnet (1997), Carlino et Voith (1992), DeFrutos, Garcia-Diez et Perez-Amaral (1998), Garcia-Mila, McGuire et Porter (1996), ou Pinnoi (1994)). Le principal problème que pose l'estimation de ces fonctions tient à la relation de causalité inverse : une hausse des revenus induit une croissance de la demande d'infrastructures, de sorte qu'une corrélation positive entre le parc d'infrastructures et le niveau de production s'explique peut-être simplement par l'accroissement de la demande, et ne reflète pas nécessairement un gain de productivité du côté de l'offre. Pour surmonter cette difficulté, nous utilisons des techniques exposées dans Canning (1999) reposant sur une analyse de données de panel par cointégration, décrites à la section 2.1 ci-après. L'une des caractéristiques intéressantes de notre démarche est que nous obtenons des estimations de la productivité du capital physique et du capital humain voisines de celles que l'on trouve dans des études microéconomiques de leurs taux de rendement privés. Il y a donc lieu de penser que cette méthode élimine effectivement la distorsion introduite par le lien de causalité inverse, que nous supposons aussi importante dans le cas de l'investissement en capital physique et humain que dans celui de l'investissement en infrastructures.

Une différence fondamentale entre les résultats figurant dans le présent document et ceux de Canning (1999) vient de ce que les nôtres ne s'appuient pas sur une fonction de production de type Cobb-Douglas, mais sur une spécification translog. Avec la fonction de production de Cobb-Douglas, le produit marginal de chaque type de capital décroît forcément à mesure que le ratio capital-travail augmente. Cela revient virtuellement à imposer un taux de rendement élevé de tous les biens d'équipement dans les pays à faible revenu et un faible taux de rendement dans les pays à revenu élevé, ce qui ne concorde guère avec les taux observés de rendement privé du capital physique et du capital humain, ni avec la structure des mouvements de capitaux entre pays (Lucas (1990)). La spécification translog, par contre, autorise une certaine flexibilité dans le profil international des taux de rendement.

Si nous avons choisi cette spécification, c'est aussi pour une autre raison importante, à savoir qu'elle nous permet d'examiner la complémentarité et la substituabilité entre facteurs dans la fonction de production. Nous constatons que, considérées isolément, toutes les infrastructures affichent des rendements rapidement décroissants, ce qui ne milite guère en faveur d'une politique de développement exclusivement tiré par les infrastructures. Cela dit, les infrastructures se révèlent très complémentaires tant du capital physique que du capital humain, ce qui leur confère un rôle important dans un processus de croissance équilibrée et fait planer un risque de pénurie grave d'infrastructures

en cas d'envolée des investissements dans les autres formes de capital, sans que l'investissement infrastructurel suive. Nous expliquons ces relations dans les sections 2.2 et 2.3 ci-après. Outre le coût des infrastructures (section 3 ci-après), ces relations de productivité doivent entrer en ligne de compte dans la détermination des taux de rendement social des infrastructures (section 4 ci-après).

Pour de nombreux pays, de tous niveaux de revenus, les taux de rendement des infrastructures qui ressortent de nos estimations sont conformes, ou en réalité inférieurs, à ceux que l'on obtient pour le capital physique dans son ensemble. Ce résultat, vu le surcoût associé aux distorsions qu'entraîne l'alourdissement de la fiscalité pour financer des projets d'infrastructures sur les budgets publics, ne conforte guère l'idée de mettre en œuvre une politique générale d'expansion des stocks d'infrastructures.

Nous constatons néanmoins que le taux de rendement des infrastructures atteint les plus hauts niveaux dans les pays où elles font défaut, c'est-à-dire qui en sont faiblement dotés en regard de leur capital physique et humain, ainsi que dans les pays à bas coûts de construction des infrastructures. Dans un sous-ensemble de pays à revenu intermédiaire¹, nos données mettent en évidence des pénuries aiguës de routes revêtues couplées à de très bas coûts de construction des routes. Il en résulte, dans ces pays, des taux de rendement exceptionnellement élevés de l'investissement dans la construction de routes. Nous obtenons également des taux de rendement élevés de la capacité de production d'électricité, mais cette fois essentiellement dans un sous-ensemble de pays à faible revenu ou à revenu intermédiaire de la tranche inférieure.

Il y a lieu de souligner que, pour tous les pays à revenu élevé et pour la grande majorité de pays à faible revenu et à revenu intermédiaire, nos estimations des taux de rendement des infrastructures sont conformes ou inférieures à celles des rendements du capital dans son ensemble. Des taux de rendement élevés des infrastructures sont plutôt l'exception que la règle, de sorte que des investissements massifs en infrastructures doivent être justifiés par les résultats d'une analyse des caractéristiques nationales, et non imposés en vertu de prescriptions générales ou sectorielles.

2. L'EFFET DES INFRASTRUCTURES SUR LA PRODUCTION GLOBALE

2.1. Théorie

Nous commençons par examiner la contribution des infrastructures à la production globale, en partant du principe que la même fonction de production vaut dans le monde entier, à savoir :

$$y_{it} = a_i + b_t + f(k_{it}, h_{it}, x_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

où y est le logarithme de la production par travailleur, a le niveau de la productivité totale des facteurs dans le pays considéré et b une variable indicatrice temporelle qui rend compte des variations de la productivité totale des facteurs à l'échelle du monde, tandis que k , h et x représentent les logarithmes des apports par travailleur de capital physique, de capital humain et de capital infrastructurel, respectivement. Le terme ε représente l'erreur aléatoire.

En utilisant pour tous les paramètres des valeurs par travailleur, nous excluons des économies d'échelle au niveau agrégé qui peuvent, en fait, avoir de l'importance pour mesurer l'effet des infrastructures (Morrison et Schwartz (1994)). Pour simplifier, nous considérons les infrastructures comme un facteur de production normal, en ignorant les effets qu'elles peuvent avoir sur le taux de croissance à long terme de la technologie et de la productivité totale des facteurs, effets analysés dans Duggal, Saltzman et Klein (1999). Nous tablons également sur des erreurs aléatoires de la production autour de notre fonction de production, au lieu d'utiliser une approche de la frontière stochastique comme le font Mullen, Williams et Moomaw (1996). Si nous avons choisi une spécification aussi simpliste de la fonction de production, c'est parce que cela nous autorise à employer des techniques permettant de compenser les liens de causalité inverse. Cette dernière étant le principal problème qui entame la crédibilité des fonctions de production agrégées, il semble justifié de procéder ainsi, même s'il faut pour ce faire recourir à une forme fonctionnelle simple.

Nous donnons deux formes différentes à la fonction de production f . Dans le premier cas, nous prenons pour hypothèse que la fonction de production sous-jacente est du type Cobb-Douglas, ce qui donne, en logarithmes :

$$f(k_{it}, h_{it}, x_{it}) = \alpha k_{it} + \beta h_{it} + \gamma x_{it}. \quad (2)$$

Dans le deuxième cas, nous partons de l'hypothèse d'une forme fonctionnelle plus complexe qui s'écrit comme suit :

$$f(k_{it}, h_{it}, x_{it}) = \alpha_1 k_{it} + \beta_1 h_{it} + \gamma_1 x_{it} + \alpha_2 k_{it}^2 + \beta_2 h_{it}^2 + \gamma_2 x_{it}^2 + \psi_{kh} k_{it} h_{it} + \psi_{kx} k_{it} x_{it} + \psi_{hx} h_{it} x_{it}. \quad (3)$$

Cette variante de la fonction de production translog permet de faire varier les degrés de substituabilité et de complémentarité entre les divers types de capital. Néanmoins, en exprimant les variables de capital par travailleur, nous imposons là encore des rendements d'échelle constants et faisons abstraction des effets de l'interaction de chaque type de capital avec le travail, qui apparaîtraient dans une spécification translog classique. La précision de nos estimations sera d'autant moindre que le nombre de variables à estimer est grand, de sorte que (3) représente un compromis entre un modèle plus général et la spécification dépouillée dont rêve tout économètre.

L'un des principaux problèmes que pose l'estimation de la fonction de production énoncée ci-dessus est le risque de causalité inverse. Si les investissements en capital dépendent du revenu (par exemple à travers une fonction d'épargne s_i), nous pouvons écrire :

$$\Delta K_{it} = s_i(Y_{it}) - dK_{it} \quad (4)$$

où K est le stock de capital, Y le PIB total et d le taux d'amortissement. D'où, à l'état stationnaire, la relation :

$$K_{it} = \frac{s_i(Y_{it})}{d}. \quad (5)$$

Cela suppose un effet en retour du revenu sur le stock de capital, d'où des difficultés à assimiler les résultats des régressions (2) ou (3), par exemple, à des fonctions de production. Il pourrait, bien entendu, se produire également un effet en retour du revenu sur la demande d'infrastructures. Le suivi de l'évolution d'un pays au fil du temps montre que la production augmente au fur et à mesure que le capital s'accumule, mais que l'accumulation de capital suit l'évolution du revenu, de sorte qu'il est

très difficile d'établir les liens de causalité dans un sens et dans l'autre. La rétroaction positive de la hausse du revenu, qui accroît l'accumulation de capital dans les infrastructures, pourrait nous amener à penser qu'une simple régression de la fonction de production conduit à une surestimation des coefficients.

Bien que ce problème de causalité inverse empêche généralement de procéder à une estimation simple et directe de la fonction de production, nous pouvons, dans certaines conditions, estimer une relation du type de (1) à l'aide de méthodes simples. Comme le montre Canning (1999), chacune des séries qui figurent dans (1) est non stationnaire. Nous pouvons par conséquent considérer que (1) est une relation de cointégration à long terme. Il est à noter toutefois que, dans chaque pays, (5) peut elle aussi être une relation de cointégration, et le rester même après la division par le nombre de travailleurs. Il s'ensuit que, quand nous estimons la « fonction de production » comme étant une relation de cointégration, nous estimons, en pratique, une fonction de production panachée d'une relation d'investissement².

Avec des données de panel, cependant, le problème ne se pose plus à condition que la relation à long terme (1) soit homogène au niveau international, mais que la relation d'investissement (5) diffère d'un pays à l'autre. Dans un panel, nous pouvons rassembler des données relatives aux divers pays et, même si (1) demeure une relation de cointégration, lorsque nous estimons sur données groupées une forme homogène de l'équation (5),

$$K_{it} = \frac{s(Y_{it})}{d} + u_{it} \quad (6)$$

le terme d'erreur, qui découle des différences de comportement réel d'investissement observées dans chaque pays par rapport à la moyenne mondiale, est donné par :

$$u_{it} = \frac{s_i(Y_{it}) - s(Y_{it})}{d}. \quad (7)$$

En conséquence, le terme d'erreur au niveau de chaque pays est non stationnaire et finit par avoir une valeur très importante, parce que l'erreur induite par l'utilisation d'une relation s'appuyant sur des données groupées, au lieu de la véritable relation observée au plan national, dépend du niveau de revenu, lequel est non stationnaire. Même si nous disposons du rapport à long terme entre le revenu et l'investissement pour chaque pays, le regroupement des données de tous les pays nous permet d'identifier la fonction de production à long terme. Ce raisonnement est subordonné, bien entendu, à l'hypothèse selon laquelle notre modèle (1) est correct et valable pour tous les pays. Il ne vaut également que si la relation entre revenu et investissement est hétérogène au niveau international, mais comme le signalent Chari, Kehoe et McGratten (1996), des disparités au niveau de la protection des droits de propriété et de la fiscalité entraîneront vraisemblablement des taux d'investissement très différents, même entre pays ayant le même niveau de revenu.

Si nous admettons ce raisonnement, la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) nous fournira une estimation convergente de l'équation (1). Cela dit, l'estimateur des MCO n'est pas très performant sur un échantillon de petite taille dans ce contexte, et les valeurs de t mentionnées ne sont pas satisfaisantes, même asymptotiquement. Banerjee (1999), de même que Phillips et Moon (1999), décrivent des techniques récemment mises au point pour estimer des relations à long terme à partir de données de panel, qui permettent de surmonter ces problèmes. Dans le présent document, nous rangeons à l'argument de Kao et Chiang (1999), selon lesquels un estimateur dynamique des MCO qui tient compte des décalages temporels (avances et retards) des différences premières des variables

explicatives possède des propriétés satisfaisantes sur des échantillons de petite taille et peut servir à estimer (à partir de la matrice des variances-covariances à long terme des innovations et des résidus) des statistiques t convergentes.

La méthode appliquée par Kao et Chiang (1999) se prête à l'estimation d'une fonction de production de Cobb-Douglas, du type de notre équation (2), car toutes les variables apparaissent $I(1)$ ³, avec le postulat que la fonction de production est une relation de cointégration⁴. L'estimation de la fonction de production (3), qui est plus complexe, soulève par contre un peu plus de problèmes. La difficulté vient de ce que, si les variables stock de capital et infrastructures sont bien $I(1)$, les termes renvoyant à leur carré et à leur produit ne sauraient l'être. Néanmoins, Chang, Park et Phillips (1999) démontrent que le fait d'estimer des fonctions non linéaires de variables $I(1)$ n'a pas d'effet sur les propriétés de convergence de l'estimateur classique des MCO, encore que cela influe sur la vitesse de convergence des estimations⁵. En outre, bien que nous fournissions les t corrigés de la même façon que pour le cas linéaire, il n'est pas évident que ces statistiques soient asymptotiquement convergentes dans le cas non linéaire. En conséquence, bien que nous ayons une estimation convergente des paramètres de l'équation (3), et que nous tenions ces valeurs pour nos « meilleures estimations » de la relation à long terme entre les facteurs et la production globale, nous ne procédons à aucun test d'hypothèse sur la signification des estimations.

2.2. Estimations de la fonction de production de Cobb-Douglas

Les données sur la production par travailleur et le stock de capital par travailleur sont tirées des *Penn World Tables 5.6* (cf. Summers et Heston, 1991). Pour la production par travailleur, nous utilisons le PIB par travailleur exprimé à parité de pouvoir d'achat (indice en chaîne). Notre indicateur du capital physique est calculé par la méthode de l'inventaire perpétuel ; postulant un ratio capital-production de trois pour l'année de référence (généralement 1950), nous obtenons le stock de capital de chaque année en ajoutant l'investissement (tiré des *Penn World Tables 5.6*) au stock de capital de l'année précédente minoré de 7 pour cent au titre de la dépréciation. Étant donné que nous faisons débiter nos estimations à 1960, le délai est suffisamment long pour que nos estimations du stock de capital ne soient plus dépendantes des hypothèses arbitraires initiales. Cette procédure aboutit à des résultats d'une robustesse remarquable face à des modifications du ratio capital-production et du taux de dépréciation choisis au départ. Le capital humain par travailleur, mesuré par la durée moyenne de scolarisation de la population active, est tiré de Barro et Lee (1993).

Les deux variables utilisées pour représenter le stock d'infrastructures sont le nombre de kilowatts de capacité de production d'électricité et le kilométrage de routes revêtues (voirie urbaine comprise) ; elles sont reprises des données calculées par Canning (1998). Ces indicateurs physiques ne rendent pas compte des différences de qualité des infrastructures d'un pays à l'autre et dans la durée, disparités qui peuvent apparaître dès la construction, compte tenu de l'extrême diversité des routes en termes de capacité (nombre et largeur des voies) et de durabilité. De son côté, la capacité de production d'électricité se présente sous de nombreuses formes (centrales au fioul, au charbon, nucléaires, hydroélectriques) dont les coûts de construction et d'exploitation diffèrent. De surcroît, la qualité peut avoir une influence décisive sur l'efficacité des infrastructures, au moment de leur construction et ultérieurement, en fonction de l'entretien qu'elles nécessitent (cf. Hulten (1997)). On constate en particulier de grands écarts de qualité du réseau routier selon les pays, en raison des différences de conditions climatiques et d'importance des travaux d'entretien et de réparation. Ne disposant pas de données détaillées sur la qualité, nous utilisons dans notre estimation des indicateurs

quantitatifs simples ; rappelons toutefois que la spécification à effets fixes dont nous nous servons pour saisir les écarts de productivité totale des facteurs entre pays tend à estomper toutes les différences de qualité des infrastructures au niveau international qui sont constantes au fil du temps.

Le Tableau 1 récapitule les résultats des estimations que nous avons calculées à l'aide de la fonction de production de Cobb-Douglas. Toutes les régressions présentées ici comportent une constante pour chaque pays et des variables indicatrices de l'année s'appliquant à l'ensemble des pays (qui ne figurent pas dans les Tableaux). Elles tiennent compte en outre de la valeur courante du taux de croissance des apports de chaque forme de capital par travailleur, ainsi que de celles de la période précédente et de la période suivante (différences premières des variables stock de capital). Les effets à court terme de ces taux de croissance sont estimés séparément pour chaque pays, afin que puissent jouer les effets multiplicateurs/accélérateurs des cycles conjoncturels propres aux différents pays. L'estimation séparée des coefficients à court terme nationaux réduit de beaucoup le nombre de degrés de liberté, mais peut améliorer considérablement les propriétés des estimateurs sur des échantillons de petite taille.

Dans la première colonne, sont indiqués les résultats obtenus avec une spécification classique de la fonction de production de Cobb-Douglas tenant compte seulement du capital par travailleur et du capital humain par travailleur. Les deux coefficients sont statistiquement significatifs et peuvent être interprétés comme étant l'élasticité de la production par rapport à chaque facteur. Leurs valeurs correspondent à celles ressortant d'un modèle de type Cobb-Douglas calé sur des données provenant d'études microéconomiques sur les taux de rendement privés du capital physique et du capital humain (Klenow et Rodriguez-Clare (1997)). Selon notre interprétation, cela donne à penser que les éventuelles externalités du capital physique et du capital humain sont faibles, en moyenne. En revanche, nos résultats s'écartent de ceux de certaines études macroéconomiques, qui donnent des élasticités beaucoup plus fortes, en particulier pour le capital humain (par exemple Mankiw, Romer et Weil (1992)). Il se pourrait toutefois que ces derniers soient influencés par l'effet en retour du revenu sur l'épargne (ou les taux d'épargne), qui biaise à la hausse les estimations, de sorte que la similitude entre nos estimations macroéconomiques et celles partant de données microéconomiques sur les rendements privés autorise à penser que les méthodes économétriques que nous avons choisies permettent de surmonter le problème de l'effet en retour.

Lorsque nous ajoutons la capacité de production d'électricité (colonne 2 du Tableau 1), nous obtenons un coefficient positif, significatif. Étant donné que la capacité de production d'électricité est déjà prise en compte dans le capital total, nous nous heurtons à un problème de double comptage dans l'interprétation de la régression 2 : un accroissement de la capacité de production d'électricité aura deux effets, puisqu'il fera augmenter le stock de capital et le parc électrique. On peut considérer que le coefficient du logarithme de la capacité de production d'électricité rend compte de l'effet de l'accroissement de cette capacité à stock de capital constant, autrement dit, de l'effet d'un détournement des ressources des autres formes de capital vers l'investissement dans la capacité de production d'électricité. Comme le montre Canning (1999), un coefficient positif implique qu'un transfert de ressources vers la capacité de production électrique entraîne un surplus de production, sous réserve que cette nouvelle affectation s'opère aux prix moyens mondiaux. Par conséquent, en règle générale, lorsque le coefficient de la capacité de production électrique est positif, cela signifie que le taux de rendement de cette dernière est plus élevé que ceux des autres types de capital physique, encore que tel ne soit peut-être pas le cas dans les pays où cette capacité est relativement coûteuse en comparaison des autres formes de capital.

Nous aboutissons à un résultat semblable pour les routes revêtues (colonne 3 du Tableau 1), ce qui donne à penser que celles-ci offrent, en général, des taux de rendement supérieurs à ceux des autres types de capital. Ces relations positives restent statistiquement significatives, lorsque nous additionnons les deux types d'infrastructures (colonne 4 du Tableau 1).

La conclusion selon laquelle les routes revêtues et la capacité de production d'électricité ont des rendements supérieurs à ceux que l'on obtient pour le capital en général ne concorde pas avec les résultats mentionnés dans Canning (1999), où rien ne vient étayer la thèse d'écart de rendement importants. L'une des différences entre les deux études tient à ce que la nôtre se réfère aux routes revêtues et non aux liaisons de transport (qui comprennent les lignes ferroviaires). En outre, nous avons exclu Singapour et Hong-Kong de l'échantillon relatif aux infrastructures routières. Ces villes-États ont des revenus très élevés malgré un très faible kilométrage de routes, si bien que leur inclusion tend à abaisser considérablement l'estimation des effets des infrastructures routières, car leur expérience peut laisser supposer que ces dernières ne sont pas nécessaires pour générer un revenu élevé. Lorsque nous prenons les routes revêtues comme variable explicative, nous faisons donc abstraction de ces villes-États au motif que, de par leur géographie inhabituelle et, surtout, leur forte densité de population, elles ne sont pas représentatives du processus de développement.

Néanmoins, la principale différence entre les deux études réside dans notre décision de ne pas retenir le nombre de téléphones comme variable explicative supplémentaire, lorsque nous procédons à l'estimation de l'effet des routes revêtues et de la capacité de production d'électricité sur la production. Le problème lorsqu'on prend en compte le nombre de téléphones dans les régressions, c'est que le coefficient estimé pour cette variable est très élevé, ce qui tend à annihiler l'effet des autres variables. Ce coefficient élevé ne justifierait certes pas cette exclusion, s'il était un reflet fidèle de la productivité des téléphones, mais les estimations des effets de productivité sont d'une ampleur peu plausible (les taux de rendement dépassant 10 000 pour cent par an), ce qui pourrait bien tenir au fait que le nombre de téléphones est davantage déterminé par la demande que les autres types d'infrastructures auxquels nous intéressons ici⁶. Pour éviter cette difficulté, nous excluons donc le nombre de téléphones des données d'entrée utilisées dans cette étude.

Nous pourrions mettre à profit les résultats figurant au Tableau 1 pour calculer le produit marginal et le taux de rendement des infrastructures. Reste que la fonction de production de Cobb-Douglas impose l'hypothèse d'une élasticité constante de la production par rapport à chaque type de facteur et ignore la possibilité que l'élasticité varie d'un pays à l'autre. Dans le Tableau 2, nous indiquons les résultats obtenus en subdivisant l'échantillon en deux sous-échantillons égaux, sur la base du revenu par travailleur dans chaque pays en 1975⁷. Nous constatons que les coefficients des termes renvoyant aux infrastructures sont très faibles et non significatifs d'un point de vue statistique dans les pays les plus pauvres, mais qu'ils restent élevés et significatifs dans les pays les plus riches. Cela veut dire que les infrastructures contribuent à la croissance de la production avec la même efficacité que les autres types de capital physique dans les pays les plus démunis, mais avec une plus grande efficacité que les autres formes de capital dans les pays les plus riches.

2.3. Estimations de la fonction de production translog

Afin d'approfondir l'étude de la relation de production, nous pouvons adopter la fonction translog, plus complexe, posée dans l'équation (3). Les résultats de ces régressions translog sont présentés au Tableau 3. Ceux qui concernent le capital physique et le capital humain seuls sont indiqués dans la première colonne. Dans la deuxième, s'y ajoute la capacité de production d'électricité

et, dans la troisième, les routes revêtues. Les trois régressions incluent des termes d'ajustement à court terme, notamment le taux de croissance du stock de chaque forme de capital pour la période en cours, la précédente et la suivante, là encore estimés séparément pour chaque pays⁸.

Dans la spécification translog, ce sont la valeur et le signe des coefficients des termes élevés à des puissances supérieures qui importent. Dans notre spécification de base (colonne 1), le carré du capital est positif. L'élasticité de la production par rapport au capital est donc croissante, ce qui signifie que le capital est plus efficace dans les pays qui en sont déjà largement dotés. En revanche, le carré du capital humain est négatif, ce qui implique des rendements rapidement décroissants de l'investissement en capital humain. L'effet de l'interaction du capital humain avec le capital physique rapporté dans la colonne 1 est positif, ce qui tend à indiquer que les deux sont complémentaires et à confirmer la complémentarité entre capital et main-d'œuvre qualifiée à laquelle ont conclu Berndt et Christensen (1974).

A la colonne 2 du Tableau 3, nous ajoutons la capacité de production d'électricité (CPE) à la spécification. Le carré de la CPE est négatif, ce qui dénote des rendements rapidement décroissants de l'investissement dans ce secteur lorsqu'il est pris isolément. Néanmoins, les termes d'interaction entre, d'une part, l'électricité et le capital physique et, de l'autre, l'électricité et le capital humain, sont l'un comme l'autre positifs. Il s'ensuit que la capacité de production d'électricité est complémentaire du capital physique et du capital humain, et que son efficacité augmente en leur présence. Étant donné que les différents stocks de capital sont exprimés par travailleur, l'efficacité de la CPE va croissant au fur et à mesure que l'intensité de capital augmente.

Nous obtenons des résultats similaires pour les routes revêtues : le terme qui les représente élevé au carré est négatif, mais les deux termes d'interaction entre les routes et les autres formes de capital sont positifs. Ces résultats, concernant les deux types d'infrastructures, montrent que des investissements dans les infrastructures ne sont pas suffisants à eux seuls pour induire de fortes variations de la production. Cependant, l'investissement en infrastructures peut se révéler productif dans les économies abondamment pourvues en capital physique et humain, et la présence même d'infrastructures fait en outre augmenter la productivité de l'investissement dans ces autres types de capital.

Un examen de l'élasticité de la production par rapport à chaque forme de capital permet de préciser les choses. Étant donné que les élasticités varient en fonction du volume des apports, nous commençons par étudier le cas de trois pays fictifs, l'un où les apports de capital physique, de capital humain et de capital infrastructurel par travailleur correspondent à la médiane, et les deux autres où ces apports se situent, pour le premier, dans le quartile inférieur et, pour le second, dans le quartile supérieur. Les résultats obtenus avec les valeurs observées en 1985 sont présentés au Tableau 4. Soulignons cependant que le pays qui, dans la réalité, se situe au niveau médian de par son stock de capital physique une année donnée n'est généralement pas celui qui affiche des niveaux médians de capital humain ou infrastructurel la même année. Par conséquent, les élasticités indiquées dans le Tableau ne correspondent pas à des valeurs observées dans des pays réels, mais calculées pour des pays hypothétiques conçus pour être représentatifs de l'ensemble des pays à revenu moyen, des pays modérément pauvres et des pays modérément riches, respectivement.

Pour le capital physique, nous obtenons dans tous les cas des élasticités croissantes. Au vu des résultats figurant à la colonne 1 du Tableau 3, nous constatons que l'élasticité de la production par rapport au capital se situerait entre 0.5 dans un pays du premier quartile en termes de capital humain et de capital physique et 0.65 dans un pays du troisième quartile. De son côté, l'élasticité de la production par rapport au capital humain est relativement constante quel que soit le niveau des apports. Dans les régressions intégrant nos variables infrastructurelles, nous observons que l'élasticité

de la production par rapport aux infrastructures semble plus forte dans les pays à revenu intermédiaire, affichant des apports par habitant proches de la médiane mondiale, que dans ceux où ces apports sont supérieurs ou inférieurs. Cela s'explique par le fait que les infrastructures, dans les pays à revenu intermédiaire, bénéficient de la présence de ressources complémentaires sous la forme de capital physique et humain, mais ne sont pas encore assez développées pour être entrées dans la phase de rendements rapidement décroissants (que traduisent les coefficients négatifs du carré des infrastructures au Tableau 3).

Dans les Graphiques 1 à 4, sont représentées les élasticités de la production par rapport aux différents facteurs de production, estimées, pour chaque pays, à partir des apports effectifs en 1985, en fonction du revenu par habitant (sur la base des parités de pouvoir d'achat figurant dans les *Penn World Tables*) de cette même année. Les Graphiques 1 et 2 sont fondés sur la régression 1 du Tableau 3. Le Graphique 1, qui renvoie à l'élasticité de la production par rapport au capital physique, confirme ce qui ressortait du Tableau 4, à savoir que cette élasticité est faible dans les pays les plus démunis et forte dans les pays plus riches (où les apports par travailleur sont supérieurs). S'agissant de l'éducation, objet du Graphique 2, une courbe en U est plus ou moins discernable, les élasticités étant plus grandes dans les pays plus pauvres et plus riches et moindres dans les pays à revenu intermédiaire. Toutefois, la non-linéarité de la relation n'est pas significative du point de vue statistique.

L'addition des élasticités de la production par rapport à ces deux types de capital donne un chiffre qui augmente de pair avec le revenu et qui approche 0.9 dans les pays les plus développés. Cela veut dire que, si les rendements du capital dans son ensemble sont bien décroissants du haut en bas de l'échelle des revenus, leur diminution peut être très lente dans les pays développés. S'il en est ainsi, le monde développé pourrait bénéficier d'une « croissance endogène » auto-entretenu, alors que les pays en développement relèvent du paradigme néoclassique.

Dans les Graphiques 3 et 4 (fondés sur les régressions 2 et 3 du Tableau 3 respectivement) sont représentées les élasticités estimées de la production vis-à-vis de nos deux types d'infrastructures, par rapport au revenu par habitant de 1985 dans les différents pays considérés. Dans les deux cas, la relation a la forme d'un U inversé, les élasticités étant plus grandes dans les pays à revenu intermédiaire et un peu plus faibles aux extrémités inférieure et supérieure de l'échelle des revenus. Le fait que, dans les Graphiques 3 et 4, un nombre relativement important de pays affiche des élasticités négatives de la production par rapport aux routes revêtues ou à la capacité de production d'électricité mérite quelques explications. Cela ne signifie pas qu'un accroissement du stock de ces infrastructures réduise la production ; comme précédemment, les élasticités renvoient à l'effet de l'augmentation de ce stock à stock de capital total constant. Autrement dit, elles saisissent l'effet de la réorientation des dépenses au profit des infrastructures considérées et au détriment des autres types de capital physique : le coefficient négatif indique par conséquent que les dépenses en infrastructures sont moins productives que les dépenses dans d'autres formes de capital (aux prix mondiaux).

Cette hétérogénéité de la réaction de la production à l'expansion des infrastructures, à stock de capital total constant, est conforme aux résultats obtenus par Canning et Pedroni (1999), qui appliquent une technique différente pour estimer le signe de cette élasticité dans les différents pays. Chose remarquable, dans le Graphique 3 comme dans le Graphique 4, les élasticités estimées sont plus hétérogènes pour les pays à plus faible revenu que pour les pays à revenu plus élevé. Les écarts d'élasticité s'expliquent par les disparités internationales des parts relatives de capital physique, de capital humain et de capital infrastructurel, aussi cette plus grande hétérogénéité implique-t-elle des différences plus importantes dans la structure du capital entre les pays les moins avancés. Nous voyons

là un trait distinctif des pays en voie de développement, dont la composition du capital, même si son évolution diffère d'un pays à l'autre, est en général plus éloignée du dosage optimal (ou simplement du dosage caractéristique des pays développés) que celle des pays plus riches.

Les estimations de la fonction de production nous permettent de calculer l'impact de l'investissement en infrastructures sur la production, et de fait également le produit marginal des infrastructures. Pour déterminer les taux de rendement, il nous faut par contre aussi des données sur les coûts de construction.

3. LE COÛT DES INFRASTRUCTURES

3.1. Évaluer le coût des infrastructures

Les données sur le coût des investissements en infrastructures sont relativement rares. Nos deux sources principales sont les données sur les coûts de la capacité de production d'électricité tirées de l'étude réalisée pour la Banque Mondiale par Moore et Smith (1990) et celles concernant les coûts de construction des liaisons de transport provenant du Projet de comparaison internationale (PCI) des Nations Unies. Nous avons en outre comparé le coût de construction des liaisons de transport du PCI à des données tirées de projets de la Banque Mondiale.

L'établissement de données sur le coût de construction des infrastructures destinées à compléter nos mesures physiques des stocks d'infrastructures se heurte à plusieurs difficultés. Un problème fondamental que soulèvent les comparaisons internationales tient aux différences de type et de qualité des infrastructures qui sont construites. Dans le cas de la capacité de production d'électricité, les chiffres sont des moyennes recouvrant des catégories de centrales très diverses, qui peuvent refléter différentes combinaisons de coûts en capital et d'exploitation.

En principe, les données du PCI sur le coût de construction des liaisons de transport renvoient à un même panier de biens et devraient, en conséquence, être déjà corrigées des différences de qualité. Néanmoins, dans la pratique, cette correction ne tient peut-être pas compte de toutes les différences. Les données tirées des projets de la Banque Mondiale sont plus satisfaisantes en ce qu'elles mesurent les coûts de construction des routes (et non des liaisons de transport en général), mais elles ne sont pas corrigées des différences de qualité. Dans ces projets, sont dénombrés les kilomètres de routes, mais non les kilomètres de voies ; par ailleurs, les données ne nous permettent pas non plus d'opérer une ventilation en fonction de la résistance du revêtement ou de la largeur de la voie. Un kilomètre additionnel dans un pays à revenu intermédiaire de la tranche supérieure sera vraisemblablement de meilleure qualité que dans un pays à faible revenu, d'où un risque de biais systématique dans les données. Qui plus est, les données du PCI ont une couverture beaucoup plus large que celles des projets de la Banque Mondiale. Dans les paragraphes qui suivent, nous avons donc choisi de nous fonder exclusivement sur les premières ; précisons cependant que les données du PCI et de la Banque Mondiale, quand nous en disposons des deux sources à la fois, sont très comparables.

Un autre inconvénient, dans le cas des infrastructures routières, est que nos chiffres sur les coûts concernent exclusivement la construction, sans nullement tenir compte du coût des terrains. C'est notamment pourquoi la situation de Hong-Kong et de Singapour est aussi atypique du point de vue des infrastructures routières : non seulement la productivité des systèmes de transport est sans doute différente dans des environnements aussi densément peuplés, mais il est notoire également que le coût des terrains est élevé dans ces villes-États.

Comme dans l'analyse coûts-avantages, le coût de construction des infrastructures que nous utilisons doit correspondre au coût réel en ressources. Or, nos données renvoient aux coûts effectifs, c'est-à-dire intègrent les éventuelles distorsions des prix provoquées par la fiscalité ou les contrôles à l'importation. Si nous devons prendre le parti d'imputer à ces distorsions l'essentiel des écarts de coût des projets infrastructurels entre pays, nous pourrions utiliser pour chaque type d'infrastructure un même coût au niveau mondial qui représenterait son coût réel en ressources. Dès lors, les élasticités présentées au Tableau 4 et dans les Graphiques 1 à 4 permettraient de savoir si le rendement des routes revêtues est supérieur ou non à ceux des autres formes de capital. Des hypothèses de ce type peuvent certes s'avérer valables pour des produits faisant l'objet d'échanges internationaux, mais les projets infrastructurels nécessitent souvent des apports massifs de main-d'œuvre du pays concerné, de sorte que le coût réel en ressources est fonction de la productivité de la main-d'œuvre dans le reste de l'économie, laquelle peut être extrêmement variable d'un pays à l'autre. Dans la suite de notre exposé, nous considérerons donc les coûts effectifs comme représentatifs du coût réel en ressources.

Les données sur les coûts de la capacité de production d'électricité posent un problème particulier du fait qu'elles sont exprimées en dollars des États-Unis (USD), alors que nos productivités marginales le sont en dollars internationaux constants (issus du PCI de l'ONU). La valeur du dollar international est normalisée, de telle sorte que le PIB des États-Unis soit le même quelle que soit l'unité utilisée. Par contre, ces unités ne sont pas équivalentes dans les autres pays. Dans les plus démunis, où les prix (mesurés au taux de change nominal) sont généralement plus faibles qu'aux États-Unis, le pouvoir d'achat réel d'un dollar des États-Unis et, partant, le coût réel des ressources consacrées aux dépenses en infrastructures, est élevé. Avant de procéder au calcul des taux de rendement, nous convertissons donc en dollars internationaux les coûts exprimés en USD en les divisant par le niveau de prix dans le pays en 1985 (taux de change à parité de pouvoir d'achat rapporté au taux de change nominal), repris de Summers et Heston (1991).

3.2. Analyse des données

Nos données sur les coûts par pays sont récapitulées au Tableau 5. Nous adoptons 1985 comme année de référence pour les comparaisons, car cela nous permet de disposer d'un échantillon relativement large de données relatives à des années voisines, qui peuvent être ramenées aux prix de 1985. Les chiffres de la colonne (1) du Tableau 5 indiquent le coût de construction des liaisons de transport tiré du Projet de comparaison internationale de 1985. Ces indices de prix représentent le prix nominal d'un panier de liaisons de transport corrigé du niveau de prix à parité de pouvoir d'achat du pays en question. Les indices ont été convertis de manière à obtenir un coût en dollars par kilomètre de routes revêtues sur la base du chiffre de 627 580 dollars pour les États-Unis. Bien que les liaisons de transport constituent une catégorie d'infrastructures plus générale que les routes revêtues, ces dernières représentent une forte proportion des liaisons de transport et les chiffres reflètent bien le prix d'un panier commun de liaisons, ce qui tend à atténuer le problème de l'évaluation du coût d'infrastructures de qualités différentes. Pour quelques pays, nous disposons aussi de données sur le

coût de construction des routes provenant de projets de la Banque Mondiale. Ces données sont à peu près conformes à celles du PCI, mais plus sensibles aux différences de qualité des routes d'un pays à l'autre.

Summers et Heston (1991) montrent que les biens d'équipement sont en général relativement plus onéreux dans les pays en développement que dans les pays développés. Or, dans le Graphique 5, où nous avons reporté les données sur le coût des liaisons de transport, nous observons une relation en forme de U, les coûts étant plus élevés dans les pays en développement les plus pauvres et dans les pays développés, mais sensiblement moindres dans les pays à revenu intermédiaire. En régressant le logarithme du coût sur le logarithme du revenu par habitant et sur le carré du logarithme du revenu par habitant, nous obtenons le résultat suivant :

$$\text{Log coût par km} = 25.9 - 3.517 \log y + 0.226 (\log y)^2 \quad (8)$$

(4.66) (2.59) (2.76)

$$N = 53, R^2 = 0.26$$

Au vu de cette formule, le coût atteint son minimum pour un revenu annuel de l'ordre de 2 300 dollars (internationaux de 1985) par habitant, chiffre qui se situe dans la moitié inférieure de la fourchette de revenus balayée par les 40 pays classés en 1985 par la Banque Mondiale dans la catégorie des pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure. Les données de la Banque Mondiale sur les coûts de construction des routes revêtues donnent une courbe similaire en forme de U. Dans nos calculs des taux de rendement, nous utilisons la série de données plus étoffée, basée sur les données de coûts que nous avons calibrées à partir des coûts de construction des routes tirés du PCI.

Cette courbe des coûts en forme de U s'expliquerait notamment par le fait que les pays à revenu intermédiaire ont des coûts de main-d'œuvre moins élevés que les pays développés, mais sont aussi mieux dotés que la plupart des pays à faible revenu en compétences et structures industrielles nécessaires à la production des matériaux et des équipements de construction. Lorsqu'il faut, dans les pays les plus pauvres, importer des équipements et même des matières premières pour construire et revêtir les routes, les coûts peuvent atteindre des niveaux aussi élevés que dans les pays industriels.

Nos données sur les coûts de la capacité de production d'électricité sont extraites de Moore et Smith (1990). Le coût en USD du kilowatt de puissance électrique installée et de l'extension correspondante des réseaux de transport et de distribution est fourni à la colonne (2) du Tableau 5 pour l'année 1989. Ces chiffres sont corrigés de l'indice implicite des prix du PIB pour obtenir les valeurs de 1985, puis converties en dollars internationaux sur la base du niveau de prix à parité de pouvoir d'achat dans le pays avant d'être utilisées dans nos calculs des taux de rendement. Les valeurs ainsi obtenues sont indiquées à la colonne (3) du Tableau 5.

Si nous nous penchons sur les coûts en USD, un pays sort nettement du rang : le Sénégal affiche des coûts de construction dépassant 13 000 USD par kilowatt, soit un niveau considérablement supérieur à celui de tous les autres pays. En fait, les deux pays où, après le Sénégal, les coûts sont les plus lourds se trouvent également en Afrique : ce sont le Niger et le Mozambique, où leur niveau s'établit à la moitié environ de celui du Sénégal. Cependant, si nous considérons les coûts en dollars internationaux, nous constatons que les coûts réels de la capacité de production électrique sont élevés dans de nombreux pays en développement, ce qui tient à la faiblesse de leurs prix par rapport au taux de change. La convergence relative des prix aux taux de change nominaux donne à penser que les pays en développement ne parviennent généralement pas à tirer parti de leurs bas coûts salariaux pour modérer le coût d'installation de leur capacité de production d'électricité.

Là encore, il apparaît que le coût de l'installation de la capacité de production électrique diminue avec le niveau de revenu. En effectuant une régression du logarithme du coût par kilowatt de capacité sur le logarithme du revenu par habitant (exprimés l'un comme l'autre en dollars internationaux), nous obtenons le résultat suivant :

$$\text{Log coût par kW.} = 11.18 - 0.287 \log y \quad (9)$$

(16.4) (3.58)

$$N = 63 \quad R^2 = 0.061$$

statistiques t entre parenthèses

Pour la capacité de production d'électricité comme pour les routes revêtues, l'écart des coûts de construction entre les pays où ils sont le plus et le moins élevés atteint presque un facteur de 10, et des écarts de l'ordre d'un facteur de trois ne sont pas inhabituels. En conséquence, les différences de coûts exercent sans doute une influence déterminante sur les taux de rendement de l'investissement en infrastructures.

4. LE TAUX DE RENDEMENT DES INFRASTRUCTURES

4.1. Estimations des taux de rendement et politique en matière d'infrastructures

L'approche que nous avons choisie s'explique par les externalités qui peuvent être associées aux projets infrastructurels et que les études microéconomiques fondées sur des analyses coûts-avantages ne permettent pas de saisir. En incorporant ces externalités, nous pouvons calculer le taux de rendement social total des infrastructures. Il faut toutefois garder à l'esprit un certain nombre de réserves pour l'interprétation de nos résultats.

En premier lieu, notre méthode consiste à examiner l'effet des infrastructures sur la production globale telle que la mesure le PIB. Cet indicateur peut rendre compte de certaines externalités qui échappent à l'analyse coûts-avantages au niveau microéconomique, mais il a ses propres inconvénients conceptuels. Par exemple, l'analyse coûts-avantages permet d'estimer le gain de temps de trajet attribuable à un projet routier et d'en calculer la valeur, tandis qu'une analyse se fondant sur la production globale ne saisira le gain de temps qu'à la condition que ce temps soit consacré à des usages productifs, et ignorera l'allongement du temps de loisirs. En outre, comme le signale Haughwout (1998), une analyse reposant sur la production globale risque de laisser de côté les effets de la construction d'infrastructures sur les prix relatifs, effets qui peuvent avoir d'importantes retombées sur les niveaux de vie.

Un deuxième problème vient de ce que l'effet des infrastructures sur la production tel que nous l'estimons est l'effet à long terme à l'état stationnaire. Pour calculer les taux de rendement, nous postulons que cet effet à long terme se fait sentir immédiatement et se perpétue indéfiniment, et nous

appliquons aux stocks d'infrastructures un taux de dépréciation annuelle de 7 pour cent pour tenir compte des coûts d'entretien des infrastructures sur longue période. L'inconvénient est que, du fait du processus d'actualisation, les rendements des premières années tendent à exercer une influence prépondérante sur les taux de rendement. Il s'ensuit que, s'il faut plusieurs années pour qu'une infrastructure livre tout son potentiel, nous surestimons peut-être son taux de rendement. Cela dit, cette remarque vaut également pour nos estimations du taux de rendement du capital privé ; en conséquence, nous pouvons nous attendre à des surestimations de ces deux taux dans des proportions similaires, lorsque nous comparons les taux de rendement des infrastructures à ceux du capital en général. Même si les deux taux sont probablement surestimés, le problème est peut-être plus grave dans le cas des infrastructures, dans la mesure où tout indique que la construction précède parfois la demande de services infrastructurels, en raison des gros investissements qu'elle suppose ou de projections excessivement optimistes concernant la demande (Banque Mondiale (1994)).

Nos estimations macroéconomiques du taux de rendement des infrastructures laissent également de côté d'éventuels effets d'entraînement que les infrastructures peuvent avoir sur d'autres types de capital. Bien que le développement des infrastructures élève le rendement des autres formes de capital et puisse faire augmenter l'investissement, avec des effets concomitants sur la production et la croissance économique, ces modifications induites de l'investissement n'ont vraisemblablement qu'une très faible incidence sur le bien-être. Comme le signale Baldwin (1992), si le produit marginal du capital est voisin du taux d'actualisation, l'avantage marginal et le coût marginal de l'investissement supplémentaire sont à peu près égaux, de sorte que le gain de bien-être imputable à cet investissement supplémentaire est faible voire nul⁹.

Néanmoins, il existe deux cas de figure dans lesquels ce résultat négatif ne se vérifie pas. Si l'accroissement considéré des infrastructures est important, et non plus de faible envergure, l'analyse marginale ne convient plus, car les nouvelles infrastructures peuvent porter le produit marginal du capital à un niveau très supérieur à celui du taux d'actualisation. D'un autre côté, si nous avons des raisons de penser que le produit marginal du capital dépasse d'ores et déjà le taux d'actualisation, par exemple sous l'effet d'un coin fiscal, les accroissements induits de l'investissement peuvent avoir des retombées importantes en termes de bien-être. Dans nos calculs, nous n'en faisons pas moins abstraction d'éventuels effets d'entraînement, partant implicitement du principe que notre analyse se rapporte à des projets infrastructurels d'envergure relativement réduite et que la dotation existante en ressources des autres formes de capital est raisonnablement efficiente (en fait, nous présentons des données montrant que, dans certains pays, le taux de rendement du capital est largement supérieur à tout taux d'actualisation qu'on pourrait qualifier de raisonnable).

Quelques mises en garde s'imposent également quant à l'utilisation de nos estimations des taux de rendement pour guider l'action des pouvoirs publics. La principale est que, pour faire ressortir les externalités des infrastructures, nous devons soustraire de nos chiffres les rendements privés des projets d'infrastructures. Or, ce n'est que si tous les rendements des infrastructures recensés dans l'analyse coûts-avantages correspondent à des avantages privés (aucun ne faisant partie des externalités) que les externalités pourront être obtenues par soustraction des avantages saisis dans le PIB global (il faudrait ajouter aux estimations de la productivité globale les avantages privés non saisis dans le PIB pour obtenir les taux de rendement sociaux).

Il n'est pas certain, toutefois, qu'il faille privilégier les externalités : lorsque l'État est le principal fournisseur d'infrastructures, rien ne permet de supposer qu'il visera le niveau d'infrastructures optimal en termes d'avantages privés. La dotation en capital des infrastructures peut être inadéquate, même en l'absence d'externalités. Ce qui doit retenir notre attention, c'est le taux de rendement des infrastructures par rapport à celui des autres formes de capital. Si ce rapport est supérieur à l'unité, il est justifié de préconiser une réaffectation des ressources au profit des infrastructures.

Il est à noter que cette manière de procéder s'écarte quelque peu de l'analyse coûts-avantages classique, qui envisage le taux de rendement d'un projet par rapport à un seuil, déterminé en fonction des coûts financiers. Or, il apparaît que, dans de nombreux pays, le taux de rendement du capital dans son ensemble est considérablement supérieur aux seuils couramment appliqués (ou taux d'actualisation de référence). Dans ce cas, il est justifié d'encourager l'investissement en général et, en particulier, de corriger les éventuelles distorsions qui y mettent un frein. Néanmoins, si le taux de rendement des infrastructures, bien qu'élevé, est inférieur à ceux des autres formes de capital, la politique optimale consiste à encourager l'investissement dans des types de capital autres que les infrastructures. Dans ces conditions, l'investissement en infrastructures est véritablement un pis-aller, qui ne serait justifié qu'en cas d'impossibilité, pour une raison ou une autre, d'orienter les investissements vers les autres formes de capital.

4.2. Calcul des taux de rendement

Dès lors que nous voulons estimer le produit marginal des infrastructures, il nous faut tenir compte du fait que ces dernières interviennent à deux niveaux dans notre fonction de production : d'une part, en tant que telles sous l'appellation X et, d'autre part, en tant que composante du capital agrégé, K. Si nous désignons par Z le capital hors infrastructures, nous pouvons poser :

$$K_{it} = \frac{Z_{it} p_z + X_{it} p_x}{p_k}. \quad (10)$$

Autrement dit, le stock de capital global est la valeur du capital total (soit la somme des produits du volume de chaque type de capital par son prix) divisée par le prix du capital. Pour construire ces mesures en volume, nous utilisons les prix mondiaux des biens d'investissement, tous les prix étant exprimés par rapport à la production, prise pour unité de compte. Pour simplifier, nous recourons à l'approximation $p_z = p_k$, en considérant que le prix du capital hors infrastructures est égal au prix du capital dans son ensemble. Étant donné que le capital infrastructures représente une part relativement réduite du stock de capital total (certainement moins de 20 pour cent du total dans chaque cas), cette approximation semble raisonnable.

À l'aide de l'équation (3), il est facile de calculer l'élasticité-pays et l'élasticité-temps :

$$e_k = \alpha_1 + 2\alpha_2 k_{it} + \psi_{kh} h_{it} + \psi_{kx} x_{it} \quad (11)$$

$$e_x = \gamma_1 + 2\gamma_2 k_{it} + \psi_{kx} k_{it} + \psi_{hx} h_{it}. \quad (12)$$

L'élasticité de la production par rapport aux infrastructures que nous estimons est en fait l'élasticité obtenue en augmentant le capital infrastructures, à stock de capital total (infrastructures comprises) constant. Il est dès lors possible de l'interpréter comme étant le résultat de la réaffectation vers les infrastructures d'une unité de capital physique précédemment vouée à d'autres fins. À partir de ces élasticités, et de la définition (10), nous pouvons calculer les produits marginaux d'une unité de capital physique et d'une unité de capital infrastructures -- MPK et MPX respectivement -- comme suit :

$$MPK_{it} = e_k \frac{Y_{it}}{K_{it}}, \quad MPX_{it} = MPK_{it} \frac{p_x}{p_k} + e_x \frac{Y_{it}}{X_{it}}. \quad (13)$$

Il est à noter que le produit marginal des infrastructures se compose de deux termes, le premier représentant l'effet des infrastructures sur le capital total et le second correspondant à l'effet propre aux infrastructures.

Ces équations de la productivité marginale mettent en relief une particularité importante de l'utilisation de données agrégées. Pour trouver le produit marginal par dollar dépensé dans un facteur, il faut multiplier l'élasticité estimée par le rapport de la production au stock du capital concerné, l'une et l'autre exprimés en dollars. Pour le capital dans son ensemble, ce rapport est relativement faible (généralement inférieur à un tiers), mais pour certaines sous-catégories de capital, il peut être élevé. Or, la multiplication des élasticités estimées par un nombre de grande taille accroît du même facteur les éventuelles erreurs d'estimation.

En conséquence, cette méthode n'est probablement pas satisfaisante pour déterminer le produit marginal des éléments de faible importance du stock de capital. Les routes revêtues et la capacité de production d'électricité, évaluées au coût de remplacement, représentent chacune environ 20 pour cent du stock de capital en moyenne, et devraient donc avoir des effets observables sur la production globale. En revanche, ce n'est pas le cas des réseaux téléphoniques filaires qui représentent moins de 2 pour cent de la valeur du stock de capital. Pour les motifs exposés plus haut au point 2.2, nous avons omis les lignes téléphoniques de notre analyse. Cette décision s'explique aussi par leur faible part dans le stock de capital total, qui fait que ce type d'infrastructures a vraisemblablement des répercussions limitées sur la production globale. En outre, pour calculer le produit marginal des lignes téléphoniques, nous devrions multiplier une estimation déjà peu satisfaisante de l'élasticité par un très grand nombre (le rapport de la production à la valeur du stock de réseaux téléphoniques).

Le produit marginal traduit l'effet sur la production d'une unité supplémentaire de capital. Dans le cas des infrastructures, cela signifie l'effet d'un kilowatt supplémentaire de capacité de production d'électricité ou d'un kilomètre supplémentaire de route revêtue. Pour déterminer les taux de rendement, nous avons besoin d'informations sur le coût d'une unité de capital, sur son produit marginal et sur son taux de dépréciation. Considérant que le prix des biens d'investissement figurant dans les *Penn World Tables* (version 6.5) nous fournit le prix des biens d'équipement, nous mesurons les produits marginaux et les coûts dans la même unité, les dollars internationaux de 1985.

D'un point de vue formel, nous pouvons dériver le taux de rendement des infrastructures de type x dans un pays i , dénoté r_{ix} , de la formule suivante :

$$\sum_{t=1}^{\infty} \frac{MPX_{it} - dp_{ix,t}}{(1 + r_{ix})^t} = p_{ix,0} \quad (14)$$

Le terme de gauche de l'équation représente le flux actualisé des avantages découlant d'une unité d'infrastructure, moins la dépréciation (ou les coûts d'entretien) qui intervient au taux d par unité d'infrastructure et par an. Le terme de droite représente le coût de l'unité d'infrastructure. En supposant que le produit marginal de l'infrastructure et le prix de la compensation de la dépréciation (ou les coûts d'entretien), $p_{ix,t}$, restent constants au fil du temps, et en partant de l'hypothèse d'un taux de dépréciation de 7 pour cent par an¹⁰, l'équation (14) devient :

$$r_{ix} = \frac{MPX_i}{p_{ix}} - 0.07 \quad (15)$$

Une formule simple équivalente peut être établie pour le taux de rendement du capital dans son ensemble.

Dans les deux sections qui suivent, nous utilisons ces équations pour estimer les taux de rendement de la capacité de production d'électricité et des routes revêtues. Il n'en demeure pas moins intéressant de noter que, si les prix relatifs du capital et des infrastructures sont les mêmes dans tous les pays, l'équation (15) se ramène à :

$$r_{ix} = r_{ik} + e_x \frac{Y_{it}}{p_x X_{it}}. \quad (16)$$

Dans ce cas, le rendement des infrastructures dépasse celui du capital en général si, et seulement si, l'élasticité de la production par rapport aux infrastructures telle qu'elle ressort de l'équation (12) est positive. Cependant, comme le signale Pritchett (1996), et d'après ce qui se dégage de nos données, les prix relatifs varient énormément selon les pays. Nous devrions donc recourir à l'équation (15) supposant une démarche en deux étapes, et estimer d'abord le produit marginal d'une unité physique d'infrastructure pour le rapporter ensuite à son prix. Nous pourrions malgré tout utiliser l'équation (16) ainsi que les Graphiques 3 et 4 pour nous faire une idée du profil des signes des écarts de rendement social entre les infrastructures et les autres types de capital, s'il nous semblait que nos données sur les coûts sont influencées par l'existence de rentes et autres facteurs de distorsion, mais que le coût réel en ressources des infrastructures par rapport aux autres formes de capital est à peu près le même dans le monde entier. Quoi qu'il en soit, dans les paragraphes qui suivent, nous concentrons notre attention sur les taux de rendement qui ressortent des données renvoyant aux coûts effectifs de construction des infrastructures. Les estimations obtenues par cette méthode sont récapitulées aux Tableaux 6 et 7. Toutes les données se rapportent à 1985.

4.3. Estimation du taux de rendement de la capacité de production d'électricité

Le Tableau 6 présente les taux de rendement estimés de la capacité de production d'électricité et du capital physique en général, ainsi que le ratio des deux taux de rendement dans tous les pays pour lesquels nous disposons des données nécessaires. Les estimations des élasticités à la base de ces calculs – c'est-à-dire les élasticités de la capacité de production d'électricité et du capital en général – sont celles présentées au Tableau 3 pour la régression (2). Les taux de rendement estimés sont très variables, oscillant entre plus de 100 pour cent par an (en 1985, pour le Bangladesh, le Kenya, la Bolivie et la Chine) et des chiffres très faibles (pour le Brésil et le Zimbabwe), et même négatif dans le cas du Mozambique. Il est à noter qu'un taux de rendement légèrement négatif ne signifie pas que les infrastructures ne sont pas bénéfiques pour la production, mais seulement que les avantages qu'elles procurent ne sont pas à la hauteur des coûts de l'amortissement et de l'entretien.

Nous pourrions nous borner à utiliser ces taux de rendement pour savoir si l'investissement dans la capacité de production d'électricité constitue ou non une utilisation efficace des ressources financières. Le problème qui nous préoccupe étant celui de la répartition de l'investissement entre projets, il est toutefois plus intéressant de comparer le taux de rendement estimé de la capacité de production d'électricité à celui du capital physique en général. Le taux de rendement du capital (tel qu'il ressort, lui aussi, de la régression (2) du Tableau 3) est repris à la colonne (2) du Tableau 6, dont la colonne (3) indique le ratio du taux de rendement de la capacité de production d'électricité à celui du capital en général. Les valeurs de ce ratio se situent dans une large fourchette. Dans le Graphique 7, nous rapportons le ratio estimé des taux de rendement au logarithme du revenu par habitant (en termes

de parité de pouvoir d'achat) en 1985. La relation entre les deux variables est incontestablement décroissante, les pays les plus pauvres affichant, en moyenne, des taux de rendement de la capacité de production d'électricité très supérieurs à ceux des autres formes de capital, et les pays à revenu intermédiaire des taux de rendement de la capacité de production d'électricité à peu près égaux à celui du capital en général. Malheureusement, toutes nos données sur les coûts concernent des pays en développement, aussi ne pouvons-nous pas déterminer la manière dont cette relation évolue aux échelons supérieurs de l'échelle des revenus.

Dans le Graphique 7, il apparaît que, si le taux de rendement moyen dans les pays les plus pauvres est supérieur à celui observé dans les pays à revenu intermédiaire, la dispersion des taux de rendement de la capacité de production d'électricité est aussi plus grande dans les premiers. Les taux de rendement élevés obtenus pour les pauvres s'expliquent par la taille réduite de leurs parcs électriques par rapport à leurs stocks de facteurs de production complémentaires, à savoir le capital physique et le capital humain. La droite horizontale portée sur le Graphique 7 représente un ratio de un, niveau auquel le rendement des infrastructures est égal à celui du capital en général. Comme nous pouvons le constater, il est très possible qu'un pays en développement investisse excessivement dans la capacité de production d'électricité, eu égard à ses stocks de capital physique et de capital humain, ce qui ramène le taux de rendement de cette capacité à un niveau inférieur à ceux des autres formes de capital.

En moyenne, donc, nous observons que le rendement de la capacité de production d'électricité dans les pays en développement les plus pauvres a tendance à dépasser ceux des autres formes de capital. L'*hétérogénéité* des taux de rendement dans les pays les plus pauvres semble indiquer par ailleurs que, dans ces pays, la structure de l'investissement est plus éloignée de l'optimum que dans les pays à revenu intermédiaire, ou supérieur, peut-être en raison de dysfonctionnements plus graves du marché, ou d'externalités, ou encore d'une défaillance de l'État, c'est-à-dire de problèmes essentiels qui appellent une analyse de la situation nationale.

4.4. Estimation du taux de rendement des routes revêtues

Nos données sur les coûts des routes revêtues couvrent un échantillon plus différencié de pays en termes de revenu que celles concernant la capacité de production d'électricité, et en particulier les pays à revenu élevé. La première colonne du Tableau 7 indique les taux de rendement des routes revêtues, calculés à l'aide de la régression 3 du Tableau 3. Pour certains pays en développement (en 1985, notamment la Corée du Sud, la Colombie, la Bolivie et les Philippines), nous obtenons des taux de rendement exceptionnellement élevés ; pour d'autres (par exemple la Tunisie et le Botswana, toujours en 1985), ces taux sont bas. Ils sont faibles également dans la plupart des pays développés, et même négatifs en Autriche et en Australie.

Les taux de rendement du capital (sur la base, cette fois, des effets sur la productivité tels qu'ils ressortent de la même régression 3 du Tableau 3) sont présentés à la colonne 2 du Tableau 7. Ces taux de rendement estimés accusent des variations beaucoup moins prononcées que ceux des routes revêtues, ce qui s'explique sans doute en partie par la valeur beaucoup plus grande du stock de capital total, d'où des estimations macroéconomiques plus exactes du produit marginal.

Dans le Graphique 7, nous rapportons les valeurs du ratio estimé du taux de rendement des routes revêtues à celui du capital en général dans chaque pays au logarithme du revenu par habitant de ce même pays. La première remarque est que ce ratio est inférieur à l'unité dans la plupart des pays, notamment dans tous les pays développés et à revenu élevé, mais aussi dans les pays en

développement les plus pauvres. Dans ces pays, le taux de rendement des routes revêtues est inférieur à celui du capital en général. Il se trouve par contre un groupe des pays à revenu intermédiaire où le ratio dépasse largement l'unité : ces pays se caractérisent par un produit marginal élevé des routes couplé à de faibles coûts de construction routière. Cependant, même parmi les pays à revenu intermédiaire, le taux de rendement des routes est parfois inférieur à celui du capital dans son ensemble.

Nous constatons dans ce cas également une très grande hétérogénéité internationale des taux de rendement des routes revêtues en regard des autres formes de capital et, là aussi, c'est parmi les pays à revenu intermédiaire entre les tranches inférieures et supérieures que cette hétérogénéité est la plus marquée. Reste que c'est justement dans la catégorie des pays à revenu intermédiaire qu'il faut chercher pour trouver des taux de rendement élevés de l'investissement dans les routes revêtues.

4.5. Le taux de rendement du capital

Le taux de rendement du capital dans son ensemble nous a servi, dans les deux sections qui précèdent, d'étalon à l'aune duquel apprécier l'intérêt de l'investissement en infrastructures. Intéressons-nous maintenant au taux de rendement du capital en soi, en nous appuyant sur la régression 1 (avec le capital physique et le capital humain pour seules variables indépendantes) du Tableau 3. En rapportant, dans le Graphique 9, les valeurs ainsi estimées au logarithme du revenu par habitant en 1985, nous obtenons une courbe en U inversé. C'est dans les pays à revenu intermédiaire qu'on trouve les taux de rendement les plus élevés, avec un maximum à 3 600 dollars internationaux par habitant, niveau de revenu se situant dans la moitié supérieure de la catégorie de pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure en 1985. Ce résultat contraste singulièrement avec la courbe à très forte pente décroissante que nous obtenons pour le taux de rendement du capital avec la spécification de Cobb-Douglas.

La relation mise en évidence va dans le sens de l'observation selon laquelle les rendements privés effectifs du capital sont très faibles dans les pays en développement les plus démunis et les capitaux ne vont pas des pays riches vers les pays pauvres (cf. Lucas (1990)), mais plutôt vers les pays à revenu intermédiaire. Dans les pays développés, la décroissance des rendements du capital est très lente du fait que ces pays, grâce à leur forte dotation en capital humain, parviennent à maintenir la productivité marginale du capital à un niveau élevé. Certains indices tendent néanmoins à montrer que les rendements du capital sont plus élevés dans les pays en développement à revenu intermédiaire que dans les pays développés (industriels), constat qui renforce encore l'attrait des très hauts rendements relatifs des routes revêtues.

5. CONCLUSION

Le recours à une fonction de production agrégée nous permet de calculer des taux de rendement des infrastructures censés tenir compte des externalités qui échappent aux études microéconomiques fondées sur l'analyse coûts-avantages. Le modèle pourrait être amélioré, en particulier par l'utilisation d'une fonction de production plus générale qui intègre, par exemple, les effets de la structure industrielle et de la géographie sur la productivité des infrastructures.

En dépit des hypothèses simplificatrices dont ils dépendent, nos résultats semblent plausibles. Ils donnent à penser que les déficits d'infrastructures, mis en évidence par des taux de rendement sociaux élevés de la capacité de production d'électricité ou des routes revêtues par rapport à ceux des autres formes de capital, sont en règle générale le propre d'un nombre restreint de pays appartenant pour l'essentiel, au vu de leur revenu par habitant, aux tranches inférieures et supérieures de la catégorie des pays en développement à revenu intermédiaire. Dans la mesure où ces taux de rendement élevés ne sont pas détectés par l'analyse coûts-avantages au niveau microéconomique, ils donnent à penser que des externalités macroéconomiques sont associées aux infrastructures.

NOTES

1. Pour les groupes de pays, nous avons utilisés les définitions de la Banque Mondiale, qui reposent sur les parités de pouvoir d'achat en dollars des États-Unis (USD) : les pays à faible revenu (43 sur 123 pays) sont ceux affichant un revenu d'au plus 1 690 USD (1985) par habitant ; les pays à revenu intermédiaire de la tranche inférieure (40 pays) ont un revenu compris entre 1 890 USD et 4 735 USD par habitant ; les pays à revenu intermédiaire de la tranche supérieure (16 pays, du Venezuela à la Roumanie) ont un revenu compris entre 4 904 USD et 6 764 USD par habitant, et les 24 pays à revenu élevé (de l'Arabie Saoudite à la Suisse) ont un revenu compris entre 6 765 USD et 17 000 USD par habitant.
2. Même si nous adoptons la technique de Johansen (1991), qui permet d'estimer plusieurs vecteurs de cointégration, les résultats dépendent d'une normalisation arbitraire et renvoient au sous-espace balayé par les vecteurs de cointégration et non aux relations structurelles elles-mêmes.
3. I(1) signifie intégré d'ordre un, c'est-à-dire non stationnaire, mais stationnaire sous forme de différence première. Les résultats des tests de non-stationnarité sont rapportés dans Canning (1999). Dans le présent rapport, nous nous intéressons aux routes revêtues seulement, et non à l'ensemble du réseau des routes revêtues et des lignes ferroviaires, mais ce changement ne modifie que peu les propriétés chronologiques des séries.
4. Lorsqu'on estime la relation d'une seule série chronologique avec des variables non stationnaires, il importe de procéder à des tests de cointégration, car les tendances temporelles des variables non stationnaires peuvent conduire à des résultats « fallacieux » portant à croire qu'il existe une relation étroite, alors qu'en fait il n'en existe aucune. Cependant, Phillips et Moon (1999) signalent que tel n'est pas le cas avec des données de panel ; nous pouvons donc estimer en toute confiance les relations à long terme par les MCO, même en l'absence de cointégration.
5. La vitesse de convergence de l'estimation d'un paramètre sur la valeur réelle de ce paramètre dépend de la fourchette de variation de la variable explicative, par rapport à la variance du terme d'erreur. Les variables non stationnaires ont généralement une variance beaucoup plus grande que les variables stationnaires, d'où une convergence des estimations des paramètres dans les relations de cointégration beaucoup plus rapide que dans les régressions classiques (ce que l'on appelle « superconvergence »). Nos termes de puissance supérieure se situent dans une fourchette de valeurs encore plus large que celle des variables I(1), ce qui laisse supposer que les estimations de leurs coefficients convergeront encore plus rapidement vers la valeur réelle.
6. D'un point de vue formel, le problème s'explique peut-être par l'effet en retour, relativement homogène à l'échelle internationale, du niveau de revenu sur le nombre de téléphones : c'est ce phénomène que notre méthode d'estimation saisit, tandis que les structures institutionnelles sur lesquelles reposent la construction de routes et l'installation de centrales électriques sont plus diverses selon les pays et, de ce fait, ne faussent pas nos résultats.

7. La subdivision de l'échantillon en fonction du revenu tend à fausser légèrement les résultats en raison de la corrélation entre la composition de l'échantillon et les erreurs. Le Tableau 2 n'est cependant présenté qu'à titre d'exemple, et les données qui y figurent ne sont pas utilisées pour le calcul de taux de rendement.
8. Ainsi que nous l'avons signalé plus haut, il n'est pas évident que nous devions accorder beaucoup d'importance aux valeurs de t présentées dans le Tableau 3 en raison des éléments non linéaires entrant dans la spécification. Il y a lieu de noter, en outre, que la forte augmentation du R^2 entre le Tableau 1 et le Tableau 3 vient simplement du fait que, dans le Tableau 3, cette statistique intègre le pouvoir explicatif des effets fixes spécifiques aux différents pays et de la tendance temporelle commune à l'ensemble des pays, tandis que dans les Tableaux 1 et 2, ces effets sont éliminés avant l'estimation.
9. Il s'agit simplement d'une application du théorème de l'enveloppe.
10. Le profil simple des dépenses initiales, associé aux rendements positifs ultérieurs du projet, fait qu'il existe un taux de rendement interne unique du projet. Le résultat est identique si, au lieu de compenser la dépréciation à mesure qu'elle se produit, nous laissons le stock de capital décroître jusqu'à s'annuler, avec une réduction proportionnelle des avantages que procure le projet.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrews, K. et J. Swanson (1995), “*Does Public Capital Affect Regional Performance?*” *Growth and Change*, Vol. 26, pp 204-216.
- Baldwin R.E. (1992), “*The Measurable Dynamic Gains from Trade*”, *Journal of Political Economy*, Vol. 100, pp 162-174.
- Banerjee, A. (1999), “*Panel Unit Roots and Cointegration: An Overview*”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Special Issue, pp 607-629.
- Banque Mondiale (1994), *Rapport sur le développement dans le monde 1994, Une infrastructure pour le développement*, New York, Oxford University Press.
- Banque Mondiale (1994), *Rapport sur le développement dans le monde*, diverses années.
- Barro, R.J. et J.W. Lee (1993), “*International Comparisons of Educational Attainment*”, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 32, pp 363-394.
- Berndt, E.R., et L.R. Christensen (1974), “*Testing for the Existence of a Consistent Aggregate Index of Labor Inputs*”, *American Economic Review*, Vol. 64.
- Boarnet, M.G. (1997), “*Infrastructure Services and the Productivity of Public Capital: The Case of Streets and Highways*”, *National Tax Journal*, Vol. 50, pp 39-57.
- Borland, J. et X.K. Yang. (1992), “*Specialization and a New Approach to Economic-Organization and Growth*”, *American Economic Review*, Vol. 82, pp 386-391.
- Canning, D. (1998), “*A Database of World Stocks of Infrastructure, 1950-1995*”.
World Bank Economic Review, Vol. 12, pp 529-547.
- (1999), “*Infrastructure’s Contribution to Aggregate Output*”, *World Bank Policy Research Working Paper*, No. 2246, Washington, D.C.
- et P. Pedroni (1999), “*Infrastructure and Long Run Economic Growth*”, polycopié, Queen’s University of Belfast.
- Carlino, G.A. et R. Voith (1992), “*Accounting for Differences in Aggregate State Productivity*”, *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 22, pp 597-617.
- Caselli, F., G. Esquivel et F. Lefort (1996), “*Reopening the Convergence Debate: a New Look at Cross Country Growth Empirics*”, *Journal of Economic Growth*, Vol. 1, 363-389.

- Chang Y., J.Y. Park. et P.C.B. Phillips (1999), “*Nonlinear Econometric Models with Cointegrated and Deterministically Trending Regressors*”, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- Chari, V.V., P.J. Kehoe et E.R. McGratten. (1996), “*The Poverty of Nations: A Quantitative Exploration*”, NBER Working Paper, No. 5414.
- DeFrutos, R.F., M. Garcia-Diez et T. Perez-Amaral (1998), “*Public Capital Stock and Economic Growth: an Analysis of the Spanish Economy*”, Applied Economics, Vol. 30, pp 985-994.
- Duggal, V.G., C. Saltzman et L.R. Klein (1999), “*Infrastructure and Productivity, a Nonlinear Approach*”, Journal of Ecometrics, Vol. 92, pp 47-74.
- Gallup J.L., J.D. Sachs et A.D. Mellinger (1999), “*Geography and Economic Development*”, International Regional Science Review, Vol. 22, pp 179-232.
- Garcia-Mila, T., T.J. McGuire et R.H. Porter (1996), “*The Effect of Public Capital in State Level Production Functions Reconsidered*”, Review of Economics and Statistics, Vol. 78, pp 177-180.
- Haughwout, A.F. (1998), “*Aggregate Production Functions, Interregional Equilibrium, and the Measurement of Infrastructure Productivity*”, Journal of Urban Economics, Vol. 44, pp 216-227.
- Hulten, C.R. (1997), “*Infrastructure Capital and Economic Growth: How Well You Use It May Be More Important Than How Much You Have*”, polycopié, University of Maryland.
- Johansen, S. (1991), “*Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Autoregressive Models*”, Econometrica, Vol. 59, pp 1550-1580.
- Kao, C. et M.H. Chiang (1999), “*On the Estimation and Inference of a Cointegrated Regression in Panel Data*”, polycopié, Syracuse University.
- Kelly, M. (1997), “*The Dynamics of Smithian Growth*”, Quarterly Journal of Economics, Vol. 112, pp 939-964.
- Klenow, P.J. et A. Rodriguez-Clare (1997), “*The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has it Gone Too Far?*”, polycopié, Graduate School of Business, University of Chicago.
- Krugman, P. (1991), “*Increasing Returns and Economic Geography*”, Journal of Political Economy, Vol. 99, pp 483-499.
- Krugman, P. (1996), “*Urban Concentration: The Role of Increasing Returns and Transport Costs*”, International Regional Science Review, Vol. 19, pp 5-30.
- Krugman, P. et A.J. Venables (1995), “*Globalization and the Inequality of Nations*”, Quarterly Journal of Economics, Vol. 110, pp 857-880.
- Limao, N. et A.J. Venables (1999). “*Infrastructure, Geographical Disadvantage and Growth*”, World Bank, Policy Research Working Paper, No. 2257.
- Little, I.A.M. et J.A. Mirrlees (1990), “*Project Appraisal and Planning 20 Years On*”, World Bank Economic Review, Special Supplement, pp 351-382.

- Lucas, R.E. (1990), “*Why Doesn’t Capital Flow from Rich to Poor Countries*”, American Economic Review, Vol. 80, pp 92-96.
- Mankiw, N.G., D. Romer. et D.N. Weil. (1992), “*A Contribution to the Empirics of Economic Growth*”, Quarterly Journal of Economics, Vol. 107, pp. 407-437.
- Moore, E.A. et G. Smith (1990), “*Capital Expenditures for Electric Power in the Developing countries in the 1990s*”, Banque Mondiale, Département industrie et énergie, Energy Series Working Paper No.21.
- Morrison, C .J. et A.E. Schwartz (1994), “*Distinguishing External from Internal Scale Effects – The Case of Public Infrastructure*”, Journal of Productivity Analysis, Vol.5, pp 249-270.
- Mullen, J.K., M. Williams et R.L. Moomaw (1996), “*Public Capital Stock and Interstate Variations in Manufacturing Efficiency*”, Journal of Policy Analysis and Management, Vol. 15, pp 51-67.
- Murphy, K.M., A. Shleifer et R.W. Vishny (1989), “*Industrialization and the Big Push*”, Journal of Political Economy, Vol. 97, pp 1003-1026.
- Phillips, P.C.B. et H.R. Moon (1999), “*Nonstationary Panel Data Analysis: An Overview of Some Recent Developments*”, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- Pinnoi, M. (1994), “*Public Infrastructure and Private Production: Measuring Relative Contributions*”, Journal of Economic Behavior and Organization, Vol. 23, pp 127-148.
- Porter, M.E. (1998), “*Clusters and the New Economics of Competition*”, Harvard Business Review, Vol. 76, pp 77-82.
- Pritchett, L. (1996), “*Mind Your P's and Q's, The Cost of Public Investment is Not the Value of Public Capital*”, Banque Mondiale, Département de la recherche, politique de développement ; Policy Research Working Paper No.1660
- Summers, R. et A. Heston (1991), “*The Penn World Table (Mark 5): An Expanded Set of International Comparisons, 1950-1988*”, Quarterly Journal of Economics, Vol. CVI, pp 327-336.

TABLEAUX ET GRAPHIQUES

Tableau 1. **Fonction de production de Cobb Douglas intégrant les infrastructures****Variable dépendante : Logarithme du PIB par travailleur 1960-1990**

<i>Productivité totale des facteurs</i>	<i>Variables indicatrices de l'année, effets fixes</i>			
Dynamique de court terme	2 retards, 1 avance	2 retards, 1 avance	2 retards, 1 avance	2 retards, 1 avance
Log capital par travailleur	0.455 (14.7)	0.404 (14.6)	0.417 (11.7)	0.392 (11.9)
Log capital humain par travailleur	0.125 (3.73)	0.051 (1.43)	0.079 (1.77)	0.059 (1.54)
Log capacité de production d'électricité par travailleur		0.085 (5.83)		0.057 (3.13)
Log routes revêtues par travailleur			0.083 (4.06)	0.048 (2.30)
R ² ajusté	0.729	0.678	0.716	0.685
Pays	97	90	67	62
Observations	2674	2473	1671	1534
T moyen	28	27	25	25

Les t fournis entre parenthèses sont calculés sur la base de la matrice des autocovariances à long terme et suivent asymptotiquement une loi normale centrée réduite.

Tableau 2. **Fonction de production de Cobb Douglas intégrant les infrastructures pour les pays à faible revenu et à revenu élevé****Variable dépendante : Logarithme du PIB par travailleur 1960-1990**

	<i>Échantillon complet</i>	<i>Pays à faible revenu</i>	<i>Pays à revenu élevé</i>
Productivité totale des facteurs	Variables indicatrices de l'année, effets fixes	Variables indicatrices de l'année, effets fixes	Variables indicatrices de l'année, effets fixes
Dynamique de court terme	2 retards, 1 avance	2 retards, 1 avance	2 retards, 1 avance
Log capital par travailleur	0.392 (11.9)	0.371 (8.58)	0.365 (6.41)
Log capital humain par travailleur	0.059 (1.54)	0.035 (0.64)	0.112 (1.57)
Log capacité de production d'électricité par travailleur	0.057 (3.13)	0.012 (0.50)	0.117 (3.73)
Log routes revêtues par travailleur	0.048 (2.30)	0.003 (0.12)	0.134 (4.05)
R ² ajusté	0.685	0.582	0.478
Pays	62	31	31
Observations	1534	781	753
T moyen	25	25	24

Les t fournis entre parenthèses sont calculés sur la base de la matrice des autocovariances à long terme et suivent asymptotiquement une loi normale centrée réduite.

Ventilation de l'échantillon sur la base du revenu par habitant en 1975.

Tableau 3. **Fonction de production translog intégrant les infrastructures**
Variable dépendante : production par travailleur

<i>Régression</i>	(1)	(2)	(3)
Log apport de capital (par travailleur)	0.072 (0.70)	-0.038 (0.20)	0.017 (0.10)
Capital humain	-0.151 (1.39)	0.992 (6.31)	0.569 (3.27)
Électricité		-0.869 (7.47)	
Routes revêtues			-0.398 (2.98)
Carré du capital	0.026 (3.57)	0.034 (3.50)	0.027 (2.75)
Carré du capital humain	-0.064 (5.78)	-0.114 (5.76)	-0.062 (2.92)
Carré de l'électricité		-0.061 (10.9)	
Carré des routes revêtues			-0.054 (6.36)
Capital*capital humain	0.049 (3.81)	-0.049 (3.13)	-0.039 (1.89)
Capital*électricité		0.069 (6.07)	
Capital*routes revêtues			0.044 (2.87)
Capital humain*électricité		0.152 (9.31)	
Capital humain*routes revêtues			0.101 (6.12)
R ² ajusté	0.993	0.995	0.996
N	2674	2473	1671
Pays	97	90	67
Nombre de paramètres à court terme	582	810	603

Tableau 4. **Élasticité de la production**

<i>Régression n°</i>	<i>Élasticité de la production par rapport à</i>	<i>Apports par travailleur en 1985</i>		
		<i>Quartile inférieur</i>	<i>Médiane</i>	<i>Quartile supérieur</i>
(1)	capital	0.50	0.59	0.65
	capital humain	0.09	0.11	0.11
(2)	capital	0.35	0.52	0.65
	capital humain	0.08	0.08	0.13
	électricité	0.06	0.09	0.07
(3)	capital	0.43	0.52	0.61
	capital humain	0.14	0.09	0.14
	routes revêtues	0.05	0.09	0.04

Tableau 5. Coûts unitaires de construction

<i>Unités d'infrastructure Année</i>	<i>Routes revêtues, \$ internationaux par kilomètre 1985</i>	<i>Électricité, USD par kilowatt 1989</i>	<i>Électricité, \$ internationaux par kilowatt 1985</i>
Algérie		2347	2193
Angola		3400	3257
Argentine	80223	1902	2780
Australie	869154		
Autriche	506012		
Bangladesh		2815	17833
Belgique	402887		
Bolivie	180458	1740	3177
Botswana	256089		
Brésil	639203	2655	5447
Cameroun	278808		
Canada	500760		
Rép. centrafricaine		7786	15407
Chili	143840	1924	4126
Chine		1502	4695
Colombie	169987	2564	5401
Congo		2429	4934
Costa Rica	131966	2301	4143
Chypre		2655	3982
Danemark	400378		
Rép. dominicaine	253455	1914	4850
Équateur	366371	2439	4581
Égypte		1590	3498
El Salvador	540362	3971	7127
Éthiopie	712160	2689	6128
Fidji		2923	4924
Finlande	477889		
France	386139		
Gambie		1769	3929
Allemagne occidentale	443177		
Ghana		2460	3274
Guatemala	631965	4719	6785
Honduras	771088	2144	3006
Hong-Kong	305218		
Hongrie	159311	3439	7878
Inde	143306	2061	6504
Indonésie	200008	1829	4736
Irlande	399348		
Israël	337680		
Italie	296089		
Côte d'Ivoire	288277	1680	3048
Jamaïque		2023	4196
Japon	339714		

Tableau 5. (suite)

<i>Unités d'infrastructure Année</i>	<i>Routes revêtues, \$ internationaux par kilomètre 1985</i>	<i>Électricité, USD par kilowatt 1989</i>	<i>Électricité, \$ internationaux par kilowatt 1985</i>
Jordanie		1797	2846
Kenya	285128	1717	3779
Rép. de Corée	92072	2990	4651
Lesotho		2918	14928
Libéria	426839		
Luxembourg	402887		
Madagascar	176712	4882	11174
Malawi	282163	1990	5499
Malaisie		1746	3057
Mali		1957	6145
Mexique		1949	3729
Maroc	270454	2145	6040
Mozambique		6250	15957
Myanmar		2719	7646
Népal		4346	22989
Pays-Bas	529989		
Nouvelle-Zélande	456604		
Nicaragua		3229	5280
Niger		7000	14977
Nigéria		2793	2560
Norvège	438496		
Pakistan	434650	1390	4550
Panama	187551	3417	4423
Papouasie-N.-Guinée		1925	3737
Pérou		3393	8273
Philippines	111343	2043	4708
Pologne		1851	3404
Portugal	236770	2330	4858
Sénégal	306742	13600	32856
Sierra Leone		3038	6304
Somalie		3268	5413
Espagne	236990		
Sri Lanka	65277	4451	19930
Soudan		2422	5293
Suède	522244		
Syrie		1539	3458
Tanzanie	221723		
Thaïlande		2034	5823
Tunisie	313404	1189	2415
Turquie	228506	1849	4555
Royaume-Uni	777133		
États-Unis	627580		

Tableau 5. (suite)

<i>Unités d'infrastructure Année</i>	<i>Routes revêtues, \$ internationaux par kilomètre 1985</i>	<i>Électricité, USD par kilowatt 1989</i>	<i>Électricité, \$ internationaux par kilowatt 1985</i>
Uruguay	95440	1778	3776
Yougoslavie		1702	3591
Zambie	144577		
Zimbabwe	277287	1927	3660

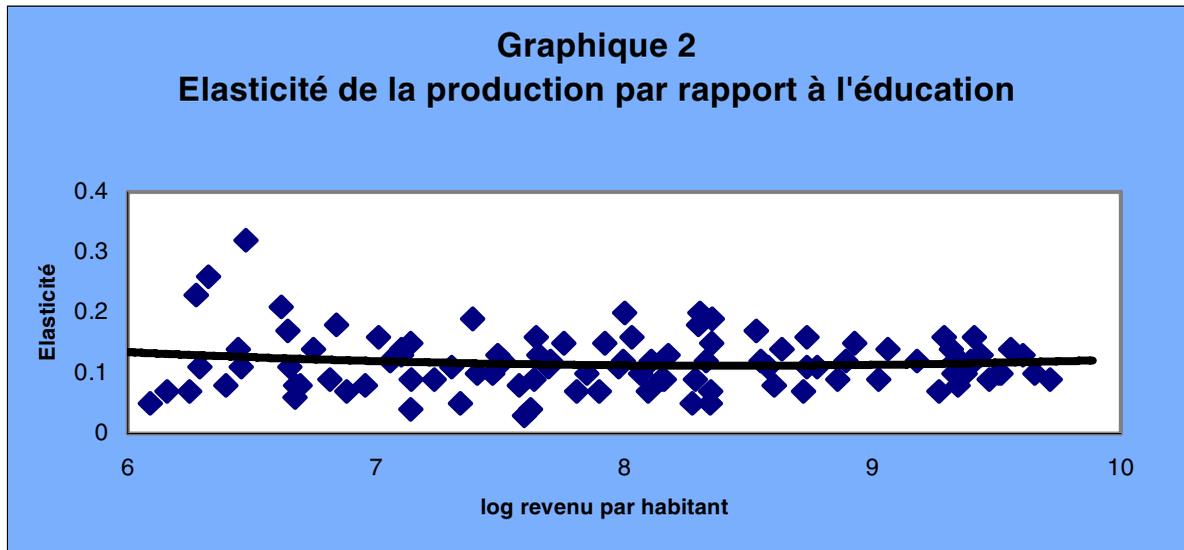
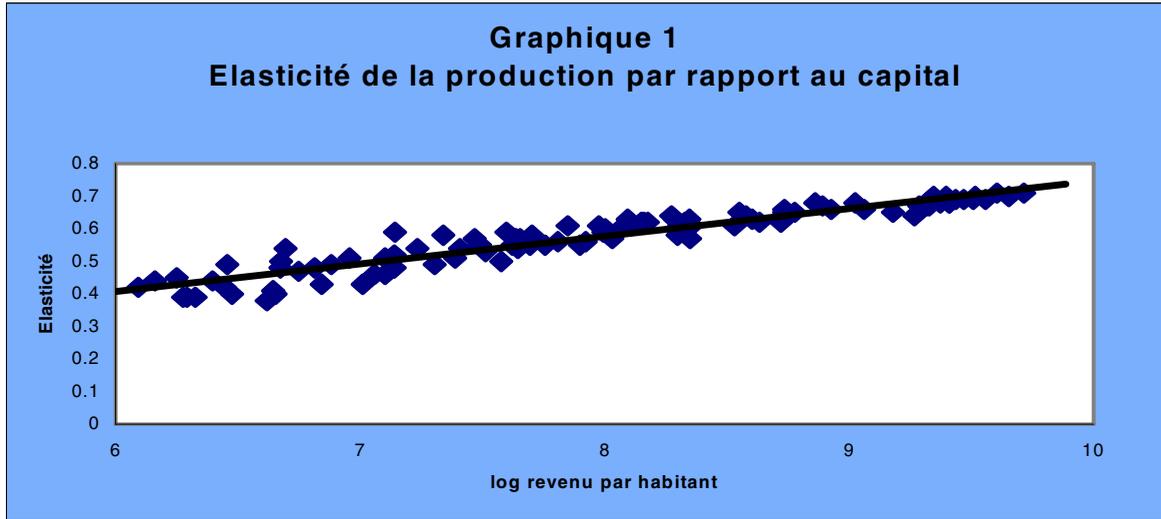
Tableau 6. **Taux de rendement de la capacité de production d'électricité et du capital**

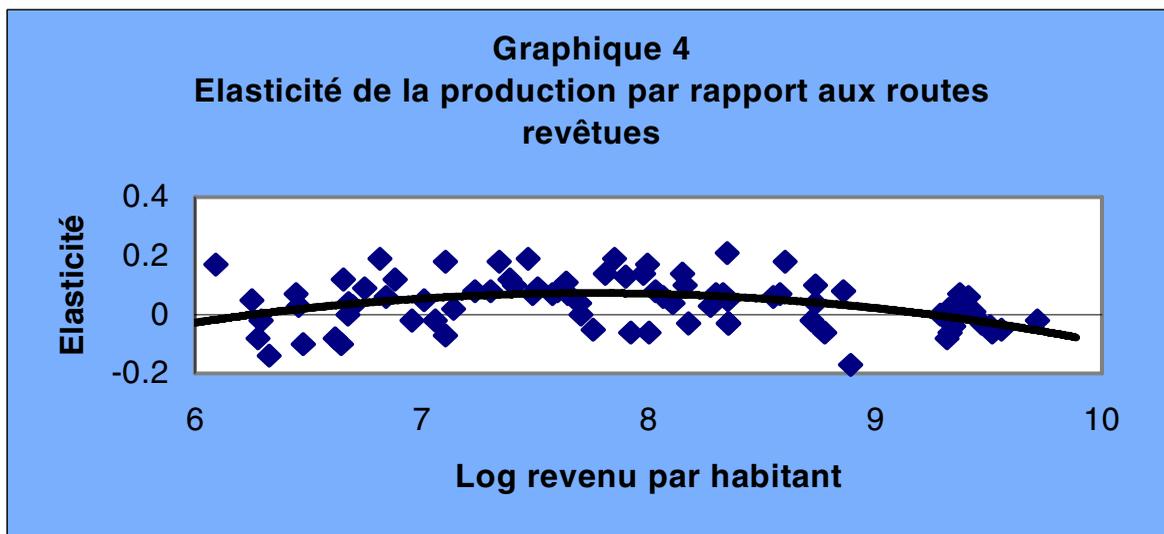
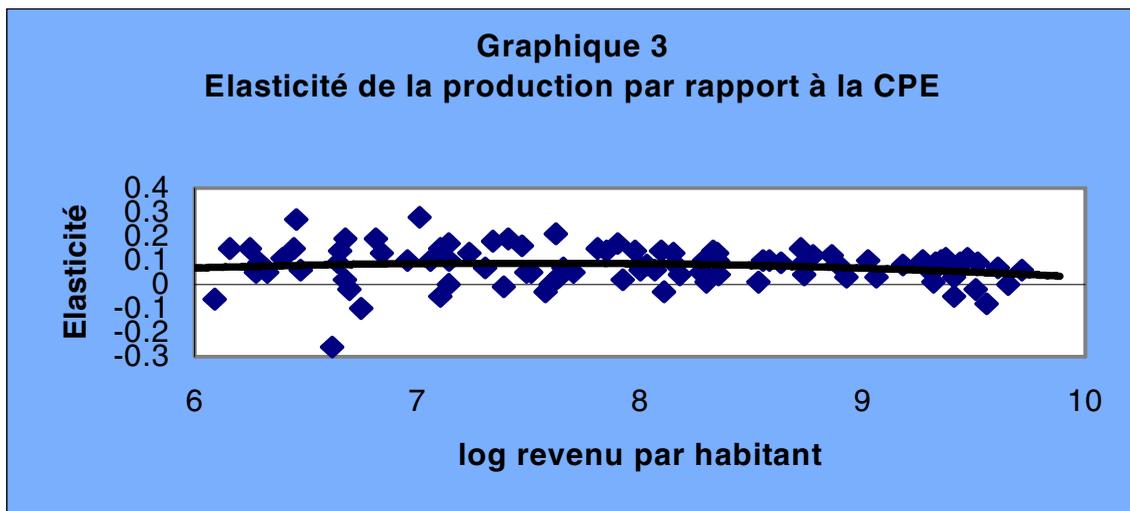
	<i>Taux de rendement de la CPE</i>	<i>Taux de rendement du capital</i>	<i>TR CPE/ TR capital</i>
Algérie	0.63	0.15	4.20
Argentine	0.46	0.29	1.59
Bangladesh	0.61	0.80	0.77
Bolivie	0.92	0.19	4.74
Brésil	0.10	0.58	0.16
Rép. centrafricaine	0.40	0.12	3.25
Chili	0.41	0.73	0.56
Chine	0.54	0.41	1.31
Colombie	0.28	0.55	0.50
Congo	1.14	0.25	4.58
Costa Rica	0.25	0.36	0.69
Chypre	0.36	0.31	1.19
Rép. dominicaine	0.25	0.61	0.42
Équateur	0.45	0.50	0.91
Égypte	0.45	0.50	0.90
El Salvador	0.17	0.42	0.40
Fidji	0.32	0.30	1.06
Gambie	1.05	0.23	4.49
Ghana	0.25	0.18	1.37
Guatemala	0.18	0.34	0.52
Honduras	0.95	0.27	3.56
Inde	0.24	0.53	0.44
Indonésie	1.06	0.62	1.70
Jamaïque	0.11	0.20	0.54
Jordanie	0.40	0.42	0.96
Kenya	1.25	0.19	6.63
Rép. de Corée	0.31	0.45	0.68
Malawi	0.54	0.18	3.00
Malaisie	0.77	0.44	1.76
Mali	0.51	0.24	2.16
Mexique	0.51	0.52	0.98
Mozambique	-0.07	0.17	-0.42
Myanmar	0.34	0.33	1.03
Népal	0.40	0.56	0.72
Nicaragua	0.20	0.30	0.67
Niger	0.12	0.13	0.92
Pakistan	0.18	0.95	0.19
Panama	0.21	0.38	0.55
Papouasie-N.-Guinée	0.06	0.24	0.26
Pérou	0.21	0.40	0.51
Philippines	0.44	0.35	1.25
Portugal	0.07	0.46	0.14
Sénégal	0.06	0.24	0.27
Sri Lanka	0.27	0.86	0.31
Syrie	0.35	0.80	0.44

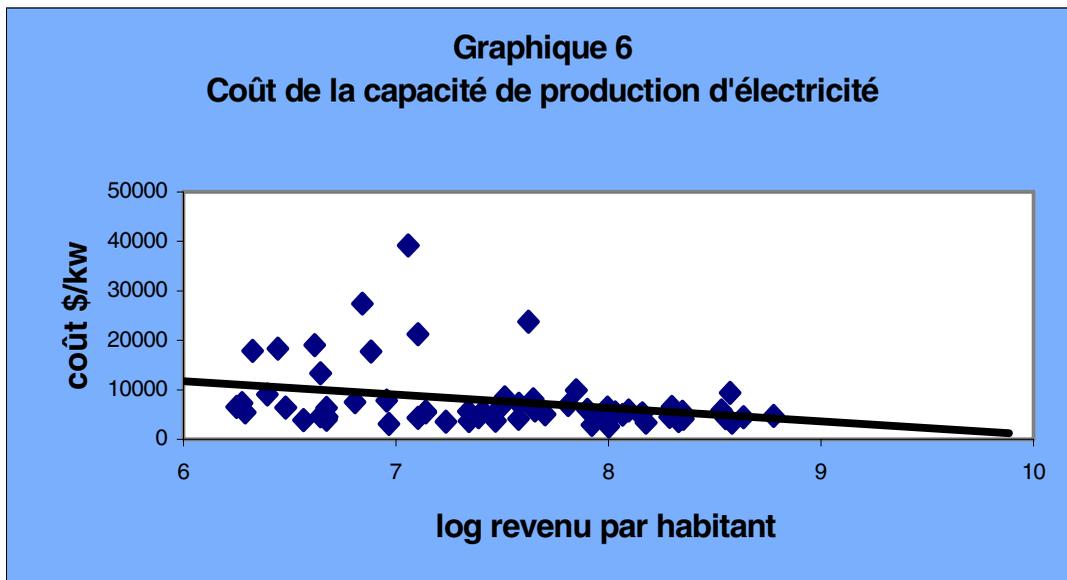
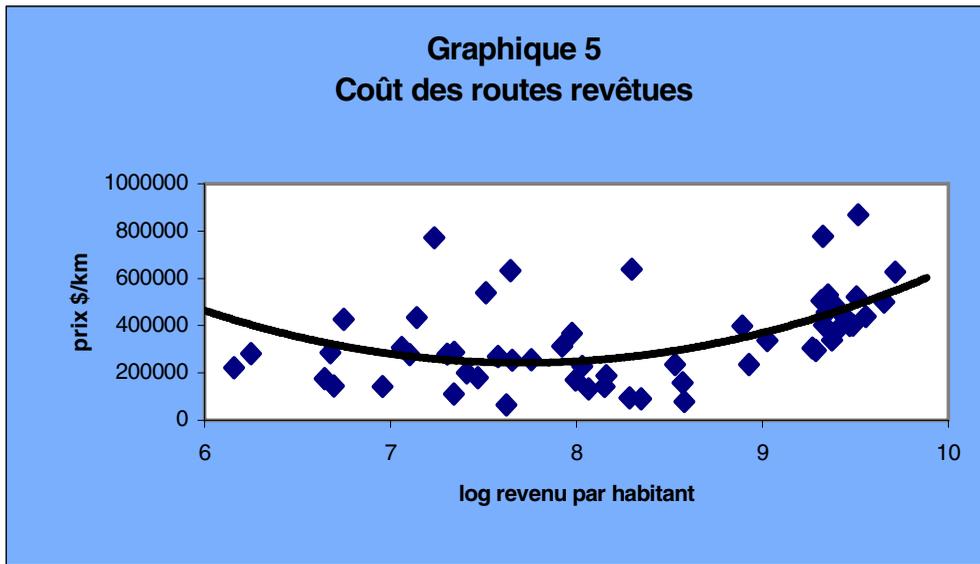
Thaïlande	0.42	0.61	0.69
Tunisie	0.40	0.37	1.07
Turquie	0.32	0.72	0.45
Ouganda	0.80	0.02	46.26
Uruguay	0.30	0.51	0.59
Yougoslavie	0.24	0.34	0.72
Zimbabwe	0.05	0.38	0.14

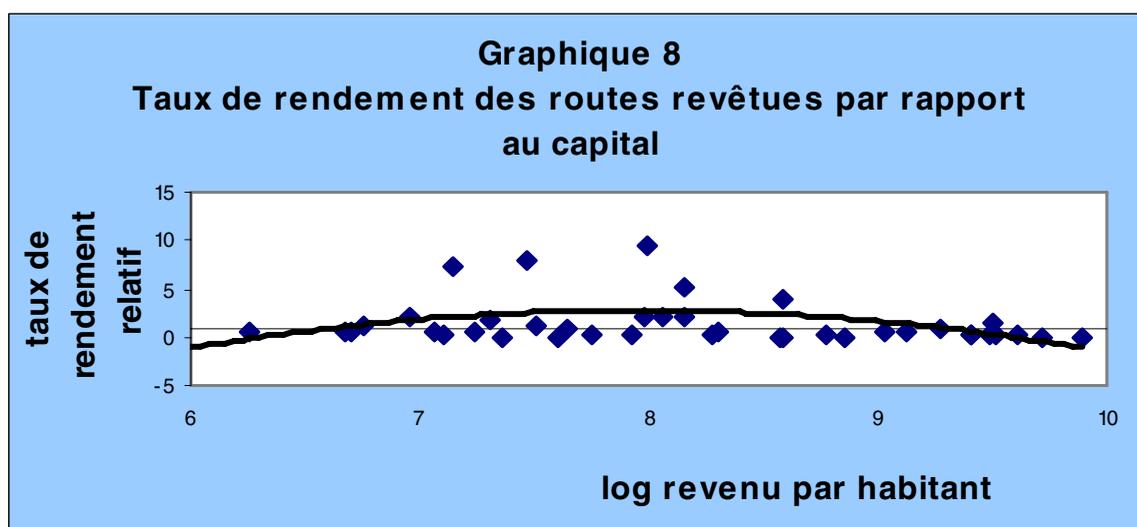
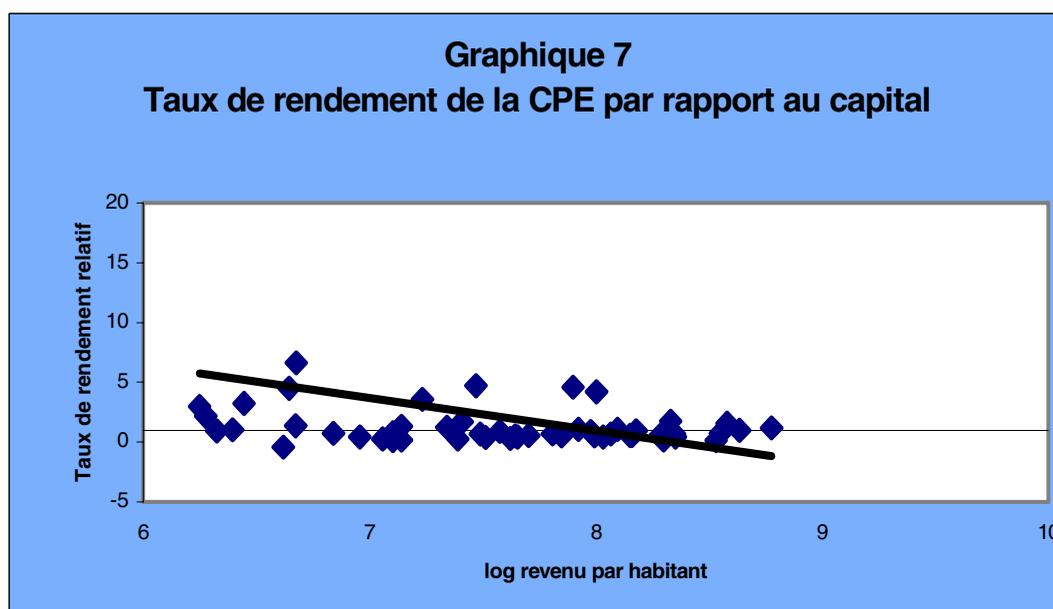
Tableau 7. **Taux de rendement des routes revêtues**

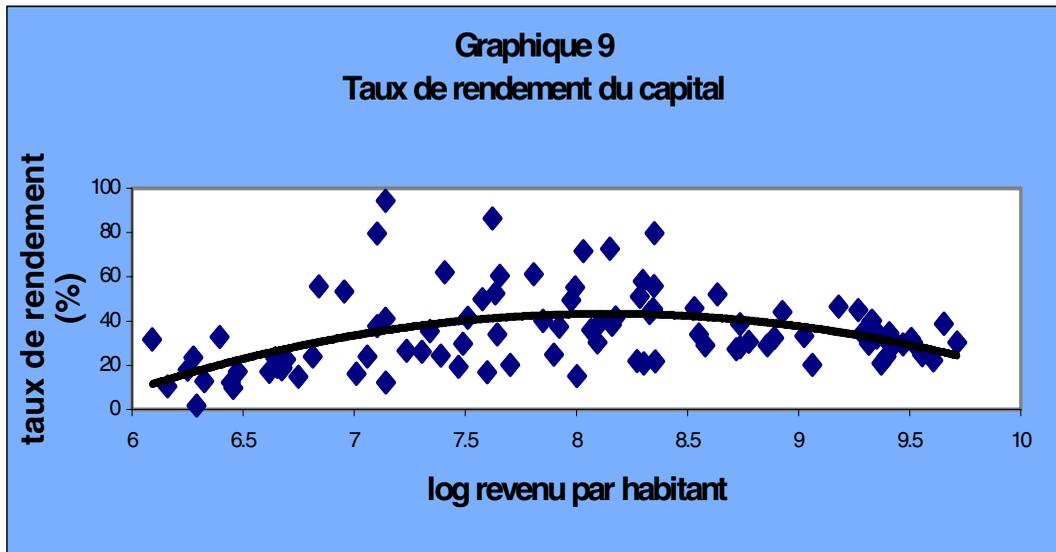
	<i>Taux de rendement des routes revêtues</i>	<i>Taux de rendement du capital</i>	<i>TR routes revêtues/ TR capital</i>
Argentine	3.85	0.29	13.33
Australie	-0.01	0.30	-0.02
Autriche	0.00	0.29	-0.02
Belgique	0.06	0.40	0.14
Bolivie	7.96	0.21	37.09
Botswana	0.20	0.58	0.34
Brésil	0.61	0.57	1.07
Cameroun	1.88	0.35	5.31
Chili	5.24	0.73	7.15
Colombie	9.47	0.54	17.53
Costa Rica	1.96	0.37	5.24
Danemark	0.12	0.30	0.40
Équateur	1.97	0.51	3.85
El Salvador	1.11	0.47	2.38
Finlande	0.15	0.22	0.68
Allemagne occidentale	0.16	0.29	0.55
Guatemala	0.76	0.38	2.01
Honduras	0.39	0.34	1.15
Inde	0.74	0.78	0.96
Indonésie	2.03	0.83	2.45
Irlande	0.06	0.36	0.15
Italie	0.26	0.34	0.76
Japon	0.62	0.20	3.05
Kenya	0.53	0.35	1.51
Rép. de Corée	15.76	0.43	36.95
Libéria	1.04	0.15	6.82
Malawi	0.60	0.40	1.50
Pays-Bas	0.15	0.32	0.46
Nouvelle-Zélande	0.08	0.36	0.23
Norvège	0.02	0.21	0.08
Pakistan	0.52	1.17	0.45
Panama	2.18	0.38	5.76
Philippines	7.19	0.40	17.99
Sénégal	0.48	0.45	1.07
Suède	0.06	0.29	0.21
Tunisie	0.16	0.43	0.36
Turquie	1.58	0.78	2.03
Royaume-Uni	0.13	0.39	0.32
États-Unis	0.07	0.29	0.26
Zambie	0.65	0.24	2.69
Zimbabwe	0.15	0.45	0.33











**INCIDENCE DES INVESTISSEMENTS ROUTIERS
SUR LA PRODUCTIVITÉ MACROÉCONOMIQUE -
RÉÉVALUATION DU CAS DE L'EUROPE OCCIDENTALE**

Andreas KOPP
Centre OCDE/CEMT de Recherche sur les Transports
PARIS
FRANCE

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	83
1. INTRODUCTION.....	83
2. PRÉSENTATION DU MODÈLE.....	86
3. DONNÉES ET QUESTIONS ÉCONOMÉTRIQUES.....	90
4. RÉSULTATS.....	91
5. CONCLUSIONS.....	98
NOTES.....	99
BIBLIOGRAPHIE.....	100

Paris, novembre 2004

RÉSUMÉ

La connaissance des effets de l'infrastructure sur la productivité permettrait d'affecter en meilleure connaissance de cause les crédits budgétaires aux investissements en infrastructures, en général, et en infrastructures de transport, en particulier. Le présent rapport analyse l'incidence des investissements routiers sur la productivité macroéconomique dans 13 pays d'Europe occidentale. Il passe en revue les études précédentes des effets macroéconomiques des investissements en infrastructures pour constater qu'elles pâtiennent d'un problème d'endogénéité qui reste encore à résoudre. La théorie de la production qu'il prend pour cadre inclut expressément la modélisation des intensités nationales de transport et prend en compte le fait que les services de transport sont tributaires de dépenses d'équipement privées et d'investissements routiers publics. Le problème d'endogénéité est réglé par une décomposition de l'estimation qui combine l'incidence sur la productivité nationale avec l'incidence sur la productivité de l'ensemble des pays en cause pour rendre les résidus de l'estimation orthogonaux aux variables explicatives. La productivité est mesurée au moyen de l'indice de productivité de Toernquist. L'incidence sur la productivité dépend du signe du rapport du parc de véhicules à l'élasticité de la production par rapport au réseau routier. L'analyse des données de panel à effets fixes montre que l'infrastructure de transport a une incidence positive sur la productivité macroéconomique. La variance des investissements en infrastructures routières n'explique toutefois qu'une petite partie de l'évolution de la productivité macroéconomique.

Mots clés :

Investissements routiers, productivité macroéconomique, analyse des données de panel

1. INTRODUCTION

Les investissements en infrastructures de transport, et plus particulièrement en infrastructures routières, sont considérés par une grande partie du public et par de nombreux décideurs politiques comme un instrument capital de promotion de la croissance économique régionale ou nationale. Les grands investissements routiers sont un des volets du programme américain de croissance à long terme lancé en 1956, sous la présidence de Dwight D. Eisenhower, dans le cadre du plan de construction de routes nationales et militaires qui avait ajouté plus de 129 000 kilomètres de routes au réseau en 1980

(Administration fédérale des routes, 1976). La loi sur l'équité des transports adoptée en 1998 a affecté 203 milliards de dollars US à l'amélioration des infrastructures routières, dont 176 milliards de dollars US ont été réservés à la construction de nouvelles routes (Chandra et Thompson, 2000).

Le Conseil européen d'octobre 2003 a invité les États membres à "... promouvoir les investissements dans les réseaux et la connaissance. Il a souligné l'importance d'accélérer le déploiement des réseaux européens de transport, d'énergie et de communication et d'accroître l'investissement dans le capital humain. Ces mesures sont essentielles pour stimuler la croissance, mieux intégrer une Europe élargie et améliorer la productivité et la compétitivité des entreprises européennes sur les marchés mondiaux." (Commission des Communautés Européennes, 2003). Le budget communautaire finance, à hauteur de 700 millions d'euros par an, 10 pour cent des projets RTE (réseau transeuropéen). Les fonds structurels devraient apporter 29.2 milliards d'euros aux infrastructures de transport, tandis que les fonds de cohésion pourraient mobiliser jusqu'à 1.5 milliard d'euros par an pour les investissements en infrastructures. La Commission envisage en outre de créer un instrument de garantie novateur destiné à faciliter l'implication financière du secteur privé dans les partenariats public/privé constitués pour des projets qui s'inscrivent dans le cadre des réseaux transeuropéens de transport. La Banque Européenne d'Investissement soutient l'initiative de croissance au moyen d'une facilité d'investissement de 50 milliards d'euros destinée aux projets RTE prioritaires. La Banque Européenne d'Investissement renforce en outre la capacité de financement que lui procure le mécanisme de financement structuré qui soutient notamment les RTE. Les investissements en infrastructures de transport sont estimés, au niveau national, avoir autant d'importance qu'une augmentation de la croissance économique.

Le rôle important de facteur de croissance économique attribué aux investissements en infrastructures de transport mérite une analyse critique pour au moins deux raisons.

- La théorie de la croissance ne conforte pas l'idée qu'une augmentation des investissements en infrastructures de transport induit un relèvement immédiat et durable du *taux de croissance* de l'activité économique. Au contraire, la théorie de la croissance exogène affirme qu'un relèvement du taux d'investissement (qui ne découle pas nécessairement d'une augmentation des investissements en infrastructures de transport) débouche sur un relèvement du *niveau* des revenus (Barro et Sala-i-Martin, 1995). Certaines variantes de la théorie de la croissance endogène concluent bien à l'existence, entre les investissements en infrastructures de transport et le taux de croissance, d'un lien qui s'établit via l'effet que les investissements en infrastructures de transport exercent sur la forme des villes, leur répartition par taille et les économies d'agglomération qui en résultent (Lucas, 1988 ; Black et Henderson, 1999 ; Lucas, 2001 ; Lucas et Rossi-Hansberg, 2002). Le lien entre les investissements en infrastructures de transport et la croissance économique est toutefois moins direct que ce qui s'affirme en public et n'est que rarement invoqué dans le débat politique.
- Aucun fait ne prouve clairement que les investissements en infrastructures de transport induisent une augmentation de la croissance ou même un relèvement du niveau des revenus. Certains auteurs voient dans la forte corrélation observée aux États-Unis entre les capitaux publics et la productivité économique la preuve que les infrastructures fournissent généralement des services précieux au secteur privé et plus particulièrement que la contraction des investissements publics américains observée après le début des années 70 est largement responsable de la baisse concomitante de la productivité¹. D'autres auteurs avancent que les capitaux publics sont endogènes et que l'augmentation des investissements publics s'explique par la réaction du secteur public à l'augmentation de la demande de services d'infrastructure entraînée par l'augmentation du revenu global². La désagrégation

sectorielle et régionale a débouché sur des effets positifs moindres, mais plus solides (voir à ce sujet l'analyse de Cohen et Paul Morrison de 2004). Plusieurs études se sont intéressées aux facteurs qui compliquent l'évaluation de l'incidence des investissements publics en infrastructures, par exemple les retombées spatiales de ces investissements dans des zones géographiques voisines ou le rôle joué par le facteur temps dans l'estimation de l'incidence des infrastructures. Kelejian et Robinson (1997) accordent de l'importance aux décalages spatiaux des variables dépendantes et indépendantes ainsi qu'à la corrélation spatiale des résidus. Holtz-Eakin et Schwartz (1995) intègrent les retombées sur les États voisins dans un modèle de production basé sur des longs décalages pour faire droit aux ajustements à long terme, tandis que Boarnet (1998) mesure ces mêmes retombées sur les États voisins en utilisant une fonction de production Cobb-Douglas.

Plusieurs auteurs ont tenté de déterminer si les investissements en infrastructures routières augmentent la productivité. Carlino et Voith (1992) sont arrivés à la conclusion que la productivité des États américains est d'autant plus élevée que leur réseau routier est dense. Holtz-Eakin et Schwartz (1995) ne peuvent par contre pas confirmer que les infrastructures de transport des États ont une forte incidence positive sur leur productivité. Holtz-Eakin et Lovely (1996) établissent un lien entre l'augmentation de la production et l'effet positif exercé par les investissements en infrastructures de transport sur le nombre d'entreprises manufacturières, mais ne décèlent pas d'effet direct sur la productivité du secteur manufacturier.

Canning (1999) et Canning et Bennathan (sans date) ont, en travaillant avec une fonction de production, trouvé une autre solution au problème de l'endogénéité des capitaux publics. Cette solution se fonde sur la non-stationnarité des chiffres de la production et du stock de biens capitaux par travailleur, ce qui veut dire que la fonction de production peut représenter une relation cointégrante à long terme. Ils se servent de ce fait pour appliquer les méthodes de cointégration des données de panel de Kao et Chiang (2000). L'utilisation de cette méthode permet, en posant en hypothèse que les fonctions de production sont identiques pour tous les pays, alors que la relation entre investissements et revenus varie d'un pays à l'autre, de laisser chaque pays de l'échantillon libre de définir sa propre dynamique d'investissement à court terme et d'attribuer aux paramètres de la fonction de production des valeurs estimatives cohérentes insensibles à la causalité inverse.

Le présent rapport se fonde sur l'étude de Fernald (1999), une étude qui tente de déterminer l'influence exercée par l'évolution des infrastructures routières sur la productivité relative des entreprises américaines de 1953 à 1989. L'auteur part de l'hypothèse que si les routes contribuent à la productivité des entreprises, ce sont les entreprises qui recourent le plus intensément à la route qui doivent bénéficier le plus de l'extension du réseau routier. Comme l'utilisation des véhicules et l'utilisation des routes sont étroitement liées entre elles et que le niveau d'utilisation des routes par les entreprises n'a pas été chiffré, l'auteur a pris l'utilisation des véhicules comme grandeur représentative de l'intensité routière. Fernald arrive ainsi à la conclusion que les variations de l'extension du réseau routier s'accompagnent de variations de l'augmentation de la productivité qui sont plus fortes dans les entreprises où l'utilisation des véhicules est relativement intensive. Cette conclusion renforce l'hypothèse selon laquelle la construction des routes procure un avantage supérieur à la moyenne aux entreprises qui ont plus de véhicules que la moyenne et donne à penser que la corrélation entre productivité globale et infrastructures est le reflet du lien de cause à effet qui existe entre l'évolution du réseau routier et l'évolution de la productivité : si les routes n'apportaient pas une contribution marginale à la productivité globale, et si les pouvoirs publics se contentaient de construire des routes quand le revenu global augmente, il ne faudrait pas s'attendre à ce qu'une variation de l'extension du réseau routier fasse naître une relation quelconque entre l'intensité d'utilisation des véhicules des entreprises et leur productivité relative. L'étude n'autorise cependant pas à conclure que les

investissements publics sont garants d'une augmentation continue des revenus. Les chiffres américains semblent corroborer l'idée que les grands programmes routiers des années 50 et 60 ont été la cause d'un bond unique de la productivité plutôt qu'un instrument de sa progression rapide et continue.

Le présent rapport se fonde sur des prémisses comparables. Son premier chapitre groupe les pays d'Europe occidentale sur la base de leur intensité de transport ainsi de leur utilisation des facteurs travail et capital. Le deuxième présente le cadre conceptuel de l'analyse empirique, le troisième expose certains problèmes de données ainsi que des problèmes économétriques et le quatrième rassemble les résultats de l'analyse empirique. Le cinquième chapitre propose quelques conclusions.

2. PRÉSENTATION DU MODÈLE

Le présent chapitre présente les tenants et aboutissants de l'équation d'estimation. Il explique que les pays où les entreprises sont assez grandes consommatrices de transport tirent de l'augmentation des investissements en infrastructures routières plus d'avantages que les pays où elles en consomment relativement moins. La croissance induite par les infrastructures routières part de fonctions nationales de production. Pour chaque pays i de l'échantillon qui en compte n , la production brute Q_i dépend du stock de bien capitaux hors transport K_i , de l'emploi L_i , des services de transport T_i et du niveau technologique de l'économie U_i censé progresser d'une façon neutre en termes de Hicks. Les services de transport dépendent des services du réseau routier G_i ainsi du parc national d'équipements de transport V_i . Si l'on omet les indices chronologiques, les fonctions nationales de production peuvent s'écrire comme suit :

$$Q_i = U_i F^i(K_i, L_i, T_i, G_i, V_i), \quad \text{pour } i = 1, \dots, n \quad (1)$$

L'équation (1) représente la fonction de la production brute de l'entreprise représentative qui utilise le capital K et la main-d'œuvre L comme facteurs primaires et les services de transport T comme seul intrant intermédiaire. Les services de transport sont produits en utilisant les routes G et le parc de véhicules V . Les entreprises n'ont pas de prise sur le facteur G , mais peuvent décider du nombre de véhicules V .

En prenant les logarithmes de (1) et en formant le différentiel total, on obtient :

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dU}{U} + \frac{1}{F} (F_K dK + F_L dL + F_T T_V dV + F_T T_G dG), \text{ ou} \quad (2)$$

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dU}{U} + \frac{F_K K}{F} \frac{dK}{K} + \frac{F_L L}{F} \frac{dL}{L} + \frac{F_V V}{F} \frac{dV}{V} + \frac{F_G G}{F} \frac{dG}{G}. \quad (3)$$

F_j est la dérivée de la fonction de production par rapport à l'intrant j , tandis que les coefficients $\frac{F_j J}{F}$ représentent les élasticités de la production, c'est-à-dire l'augmentation relative de la production brute observable quand l'intrant j augmente de un pour cent. Les entreprises ne prennent pas de décisions

relatives au réseau routier, mais les décisions relatives aux véhicules ne sont pas indépendantes des services rendus par le réseau routier existant. L'élasticité de la production par rapport aux services du réseau routier peut s'exprimer par rapport à l'élasticité du parc de véhicules :

$$\frac{F_G G}{F} = \left(\frac{\frac{F_G G}{F}}{\frac{F_V V}{F}} \right) \cdot \left(\frac{F_V V}{F} \right) = \phi \cdot \left(\frac{F_V V}{F} \right) \quad (4)$$

Le paramètre ϕ est égal au rapport de l'élasticité des routes et des véhicules par rapport à la production. L'élasticité des véhicules par rapport à la production mesure l'élasticité de l'économie nationale par rapport aux transports. Le paramètre lie donc l'intensité de transport de l'économie à l'intrant indirect qu'est l'utilisation des routes. On s'attend à ce que ϕ soit positif, c'est-à-dire que les économies assez grosses consommatrices de transport utilisent aussi beaucoup la route. En raison de la séparabilité implicitement posée en hypothèse dans (1), ϕ est aussi égal au rapport des élasticités aux G et V utilisés pour produire du transport :

$$\phi_i = \frac{T_G G_i}{T_V V_i} \quad (5)$$

Il est maintenant beaucoup plus facile de construire la dérivée formelle de l'équation d'estimation et d'interpréter les résultats en considérant que les ϕ_i sont identiques pour tous les pays ou, en d'autres termes, que la fonction pour les services de transport T a la forme d'une fonction de Cobb-Douglas. Si les entreprises manufacturières de tous les pays subissent les prix du marché sur les marchés des facteurs, la minimisation des coûts implique que les élasticités de la production peuvent être assimilées à des parts de facteur et aux parts des biens intermédiaires dans la valeur de la production brute. En représentant la part du facteur j dans la production brute du pays i par

$$s_{ij} = \frac{\partial F^i}{\partial J_j} \cdot \frac{J_j}{F^i} = \frac{F_j^i J_j}{F^i}, \quad (6)$$

l'équation (3) peut se réécrire, en tenant compte du pays i :

$$\frac{dQ_i}{Q_i} = \frac{dU_i}{U_i} + s_{Ki} \frac{dK_i}{K_i} + s_{Li} \frac{dL_i}{L_i} + s_{Vi} \frac{dV_i}{V_i} + \phi \cdot s_{Vi} \frac{dG_i}{G_i}. \quad (7)$$

Pour exprimer l'augmentation de la production sous la forme du résidu de Solow, c'est-à-dire l'augmentation de la *valeur ajoutée* diminuée des contributions des facteurs privés, il faut tenir compte de l'équation suivante :

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dY}{Y} (1 - s_I) - \frac{s_I}{1 - s_I} \frac{dI}{I} \quad (8)$$

dans laquelle Y représente la valeur ajoutée, I les biens intermédiaires réels et s_I la part des intrants nominaux des biens intermédiaires I dans la valeur de la production brute³.

Le résidu de Solow peut alors s'exprimer sous la forme de l'équation suivante :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dY}{Y} - s_K^* \frac{dK}{K} - s_L^* \frac{dL}{L} - s_V^* \frac{dV}{V} \quad (9)$$

dans laquelle $s_j^* = s_j(1/1 - s_j)$ représente la part du facteur j dans la valeur ajoutée. L'équation (7) permet donc d'écrire, pour le pays i :

$$\frac{d\rho_i}{\rho_i} = \phi s_{Vi}^* \frac{dG_i}{G_i} + \frac{dU_i^*}{U_i^*} \quad (10)$$

En d'autres termes, l'augmentation observée de la productivité est la somme du choc technologique en termes de valeur ajoutée et de l'augmentation relative de la production entraînée par l'augmentation relative des services routiers.

Les services routiers du pays i dépendent, non seulement des investissements routiers de ce pays, mais aussi :

- des services routiers assurés et des investissements routiers effectués sur le territoire des partenaires commerciaux en réponse à l'intensité intrinsèque et à l'intensité de transport des échanges bilatéraux de marchandises⁴ et
- de la congestion des différents pays qui détermine le niveau des services routiers assurés par leurs réseaux routiers.

Pour tenir compte du commerce bilatéral, les services routiers consommés par le pays i s'obtiennent en multipliant les réseaux routiers du pays i et de ses partenaires commerciaux par la part de la consommation intérieure et la part des exportations bilatérales dans la valeur ajoutée du pays i :

$$\frac{dG_i}{G_i} = \frac{dg^i}{g^i} + \sum_{j=1}^N \frac{e_{ij}}{Y_i} \frac{dg^j}{g^j}, \text{ for } i \neq j = 1, \dots, N \quad (11)$$

Les services routiers dépendent, non seulement de la taille du réseau routier, mais aussi de l'utilisation qui en est faite ou, plus spécifiquement, de la congestion. Pour tenir compte de la congestion, l'offre nationale de services routiers g_i s'obtient en divisant la valeur réelle du réseau routier par le nombre de véhicules immatriculés dans le pays i . Cette façon de mesurer la congestion postule implicitement que l'utilisation des véhicules automobiles ne change pas beaucoup avec le temps ou, plus particulièrement, qu'elle ne diminue pas. La division du réseau routier par le nombre de véhicules reprend l'hypothèse de Barro et Sala-i-Martin (1995) et de Mankiw (1992). Dans cette hypothèse, chaque producteur considère l'utilisation de la route par les autres comme donnée.

L'équation d'estimation (10) laisse subsister le problème d'endogénéité. S'il y avait causalité inverse et si l'investissement public dépendait du revenu global plutôt que le revenu global de l'investissement public, les chocs de la productivité nationale se répercuteraient sur la croissance du réseau routier. Pour régler le problème d'endogénéité, il faut prendre la décomposition de régression :

$$\frac{dU_i^*}{U_i^*} = \frac{d\bar{U}^*}{\bar{U}^*} + \varepsilon_i \quad (12)$$

dans laquelle \bar{U} représente le choc global du groupe de pays. Les résidus ε_i de l'équation (12) sont par construction orthogonaux aux chocs de la productivité nationale et, partant, aux variations des investissements publics nationaux en infrastructures de transport. Le résidu de Solow pour le groupe de pays dans son ensemble s'exprime sous la forme de l'équation :

$$\frac{d\bar{\rho}}{\bar{\rho}} = \phi s_{\bar{v}}^* \frac{dG}{G} + \frac{d\bar{U}^*}{\bar{U}^*} \quad (13)$$

dans laquelle G représente l'augmentation globale des services routiers, c'est-à-dire le rapport du réseau routier en termes réels au nombre de véhicules et s_v la part du coût des véhicules dans la valeur ajoutée nominale.

Les deux résidus de Solow, pour le groupe de pays et pour chaque pays pris indépendamment, sont exprimés sous la forme d'indices de Toernquist de l'augmentation de la valeur ajoutée. Les variations discrètes de la productivité s'expriment donc sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} \ln(\rho_t) - \ln(\rho_{t-1}) = & \ln(Y_t) - \ln(Y_{t-1}) - 1/2(s_{Kt}^* - s_{Kt-1}^*)(\ln(K_t) - \ln(K_{t-1})) \\ & - 1/2(s_{Lt}^* - s_{Lt-1}^*)(\ln(L_t) - \ln(L_{t-1})) \\ & - 1/2(s_{Vt}^* - s_{Vt-1}^*)(\ln(V_t) - \ln(V_{t-1})) \end{aligned} \quad (14)$$

Pour dériver l'équation de substitution et en tenant compte du choc de la productivité globale, on a :

$$\frac{dU_i^*}{U_i^*} = \frac{d\bar{\rho}}{\bar{\rho}} - \phi s_{\bar{v}}^* \frac{dG}{G} + \varepsilon_i \quad (15)$$

Le taux national d'augmentation de la productivité est donc égal à :

$$\frac{d\rho_i}{\rho_i} = \phi s_{v_i}^* \frac{dG_i}{G_i} + \frac{d\bar{\rho}}{\bar{\rho}} - \phi s_{\bar{v}}^* \frac{dG}{G} + \varepsilon_i \quad (16)$$

ce qui donne :

$$\frac{d\rho_i}{\rho_i} - \frac{d\bar{\rho}}{\bar{\rho}} = \phi s_{v_i}^* \frac{dG_i}{G_i} - \phi s_{\bar{v}}^* \frac{dG}{G} + \varepsilon_i = \phi \left(s_{v_i}^* s_i^g - s_{\bar{v}}^* \right) \frac{dG}{G} + \varepsilon_i \quad (17)$$

équation dans laquelle s_i^s représente la part des services routiers du pays i dans l'ensemble des services routiers du groupe de pays.

Le membre gauche de l'équation (17), soit la différence entre l'augmentation de la productivité du pays i et celle de la productivité du groupe de pays, est positif, si l'augmentation de la productivité du pays i est supérieure à la moyenne. La part de G_i dans G , soit s_i^s , est d'autant plus grande qu'est grand le rapport du réseau routier du pays i au réseau routier du groupe de pays et/ou qu'est grande l'intensité commerciale du pays i . Si les investissements en infrastructures routières sont productifs, il semblerait logique que les pays dont le réseau routier et où l'utilisation des véhicules dépassent la moyenne tirent des investissements routiers des avantages supérieurs à la moyenne. Il serait donc normal que ϕ soit positif. Il faut se rappeler que ϕ est égal au taux de l'élasticité de la production par rapport aux routes et aux véhicules qui lie les décisions observées d'investissement en véhicules à l'utilisation inobservée des routes. Un ϕ positif corrobore l'idée que les pays où il y a beaucoup de véhicules sont ou devraient aussi être des pays dont l'intensité routière est plus élevée.

3. DONNÉES ET QUESTIONS ÉCONOMÉTRIQUES

L'analyse empirique porte sur des pays d'Europe occidentale disposant de données statistiques qui permettent de chiffrer toutes les variables prises en compte. Les principales lacunes de ces données concernent les investissements en infrastructures de transport et la valeur réelle du parc automobile. L'échantillon englobe l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, l'Espagne, la Finlande, la France, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni et la Suède.

Une grande partie des données utilisées, notamment celles qui concernent la production brute, la valeur ajoutée, la valeur brute des équipements et la rémunération de la main-d'œuvre, proviennent de la base de données STAN pour l'analyse structurelle de l'OCDE (OCDE, 2004e). Les chiffres de l'emploi exprimé en nombre d'heures ouvrées sont tirés de la base de données de l'OCDE sur la productivité (OCDE, 2004d). L'évolution du parc de véhicules a été calculée au départ des chiffres STAN relatifs à la production de véhicules automobiles, remorques et semi-remorques, après soustraction des exportations et addition des importations. Le nombre de véhicules a été calculé en appliquant la méthode de l'inventaire permanent et le taux d'amortissement de 25.37 pour cent proposé par Joergensen et Yun (1991). Le taux de l'intérêt à long terme indiqué dans les perspectives OCDE (OCDE 2004c) a été retenu comme taux requis de rendement du capital. Faute de données relatives aux taxes et aux subventions, le coût d'utilisation du capital a été dit, par approximation, égal à la somme du taux d'actualisation et du taux requis de rendement du capital. La division du coût total du parc de véhicules par la valeur ajoutée nominale donne la part du coût du parc de véhicules dans la valeur ajoutée qui est utilisée pour calculer l'indice Toernquist de l'augmentation de la productivité. Les chiffres nominaux ont été ajustés en utilisant l'indice d'ajustement des dépenses privées d'équipement figurant dans les perspectives économiques de l'OCDE (OCDE, 2004c).

Très peu de pays membres de la CEMT fournissent des données relatives aux réseaux d'infrastructures de transport. Les chiffres relatifs au réseau routier ont donc été calculés en appliquant la méthode de l'inventaire permanent aux données CEMT relatives aux investissements en infrastructures de transport (CEMT/ECMT, 2004b). Selon Boskin *et al.* (1991), les routes sont censées

s'amortir géométriquement à un taux annuel de 1.98 pour cent. La valeur, en devises nationales constantes, des réseaux routiers a été calculée en utilisant l'indice d'ajustement des investissements publics figurant dans les perspectives économiques de l'OCDE (OCDE, 2004c).

La variable "services routiers" tient compte des relations commerciales internationales et de la congestion (cf. ci-dessus). Les coefficients des échanges bilatéraux se fondent sur les chiffres des échanges internationaux rassemblés dans la base de données STAN du commerce bilatéral (OCDE, 2004a) (OCDE, 2004b)⁵. La congestion est chiffrée en divisant la valeur en unités monétaires constantes du réseau routier par le nombre de véhicules. Le nombre de véhicules est tiré du rapport statistique de la CEMT sur les accidents de la route (CEMT/ECMT, 2004a).

Les valeurs exprimées en unités monétaires nationales ont, pour pouvoir être additionnées ou comparées, été converties sur la base des PPA indiquées dans les perspectives économiques de l'OCDE (OCDE, 2004c).

4. RÉSULTATS

Pour tous les pays étudiés, l'indice Toernquist de productivité a augmenté de 1975 à 2000 (Figure 1), le Portugal, la Finlande et la Suède étant les pays où l'augmentation de la productivité globale des facteurs a été la plus forte. L'augmentation de l'indice a été extrêmement fluctuante, mais a été se ralentissant sur l'ensemble de la période (Figure 2).

Les données relatives aux investissements en infrastructures de transport montrent que ces investissements, routiers en particulier, sont hautement fluctuants en chiffres absolus. Elles font aussi apparaître un allongement continu du réseau routier qui ne peut toutefois pas suivre le rythme de progression du PIB. En d'autres termes, la part des investissements en infrastructures de transport dans le PIB diminue sur le très long terme dans les pays d'Europe occidentale. Le réseau routier quant à lui s'allonge sans discontinuer (Figure 3), mais à une allure rapidement décroissante (Figure 4).

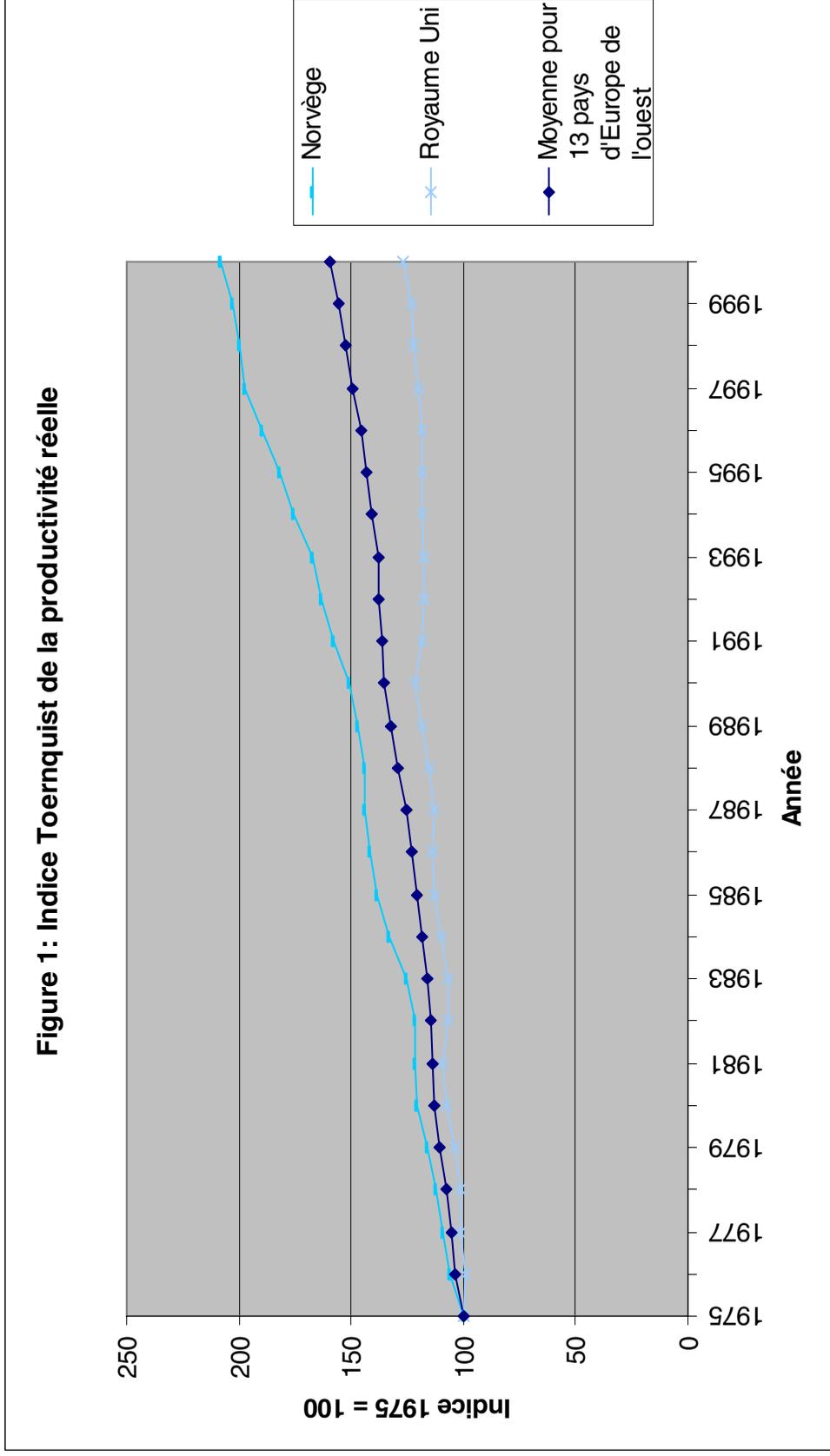
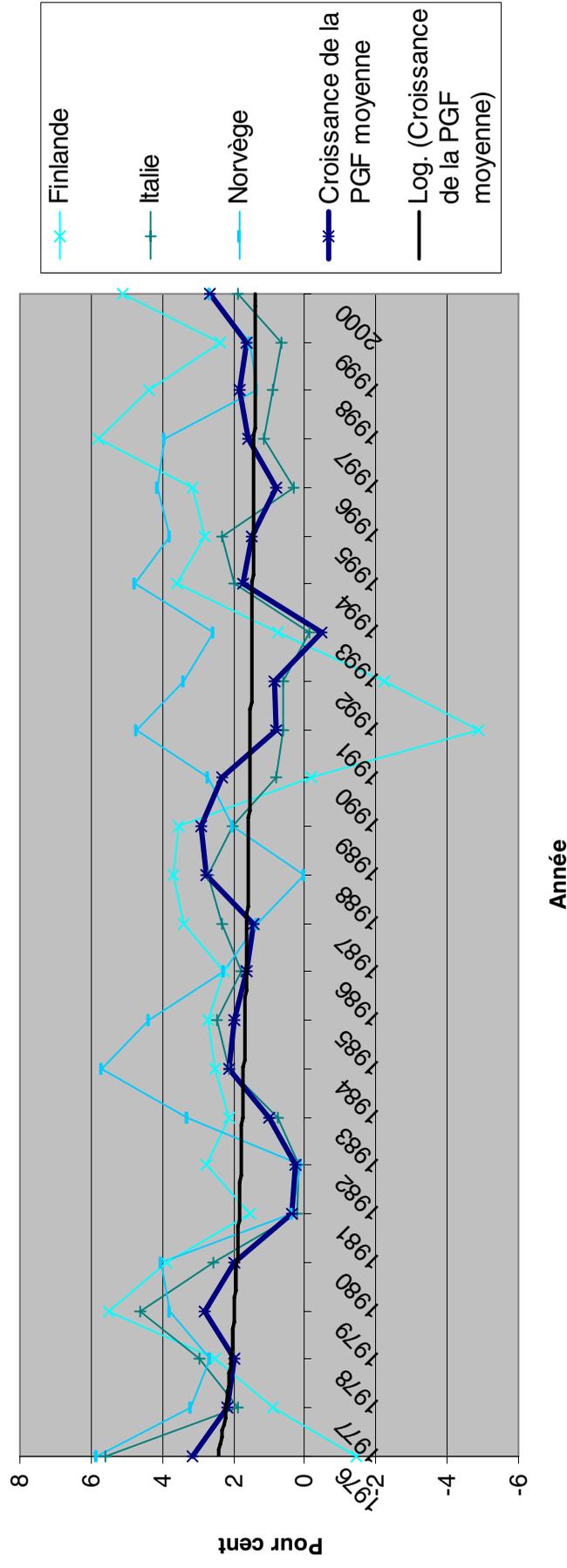


Figure 2: Augmentation de la Productivité Globale des Facteurs (PGF)



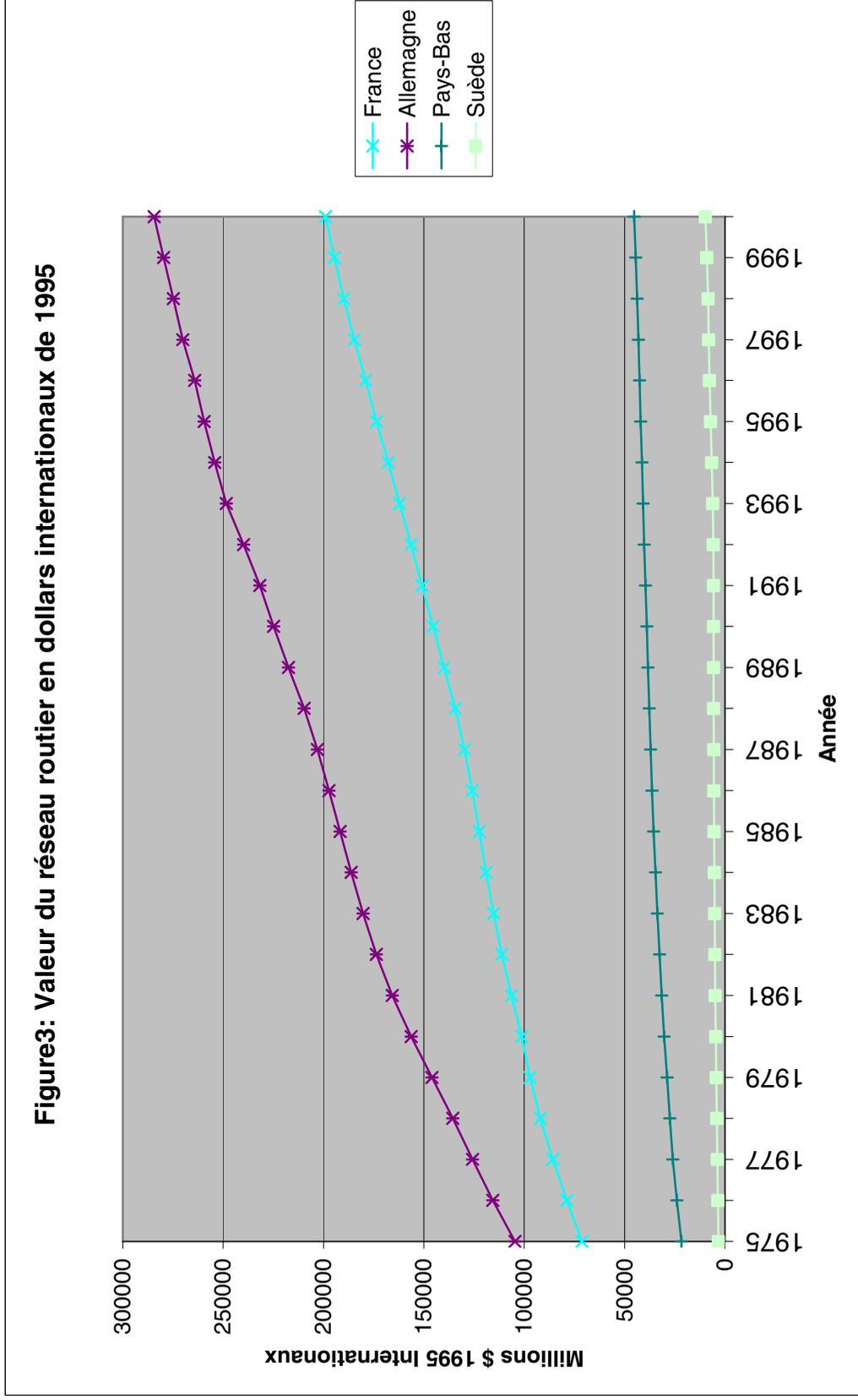
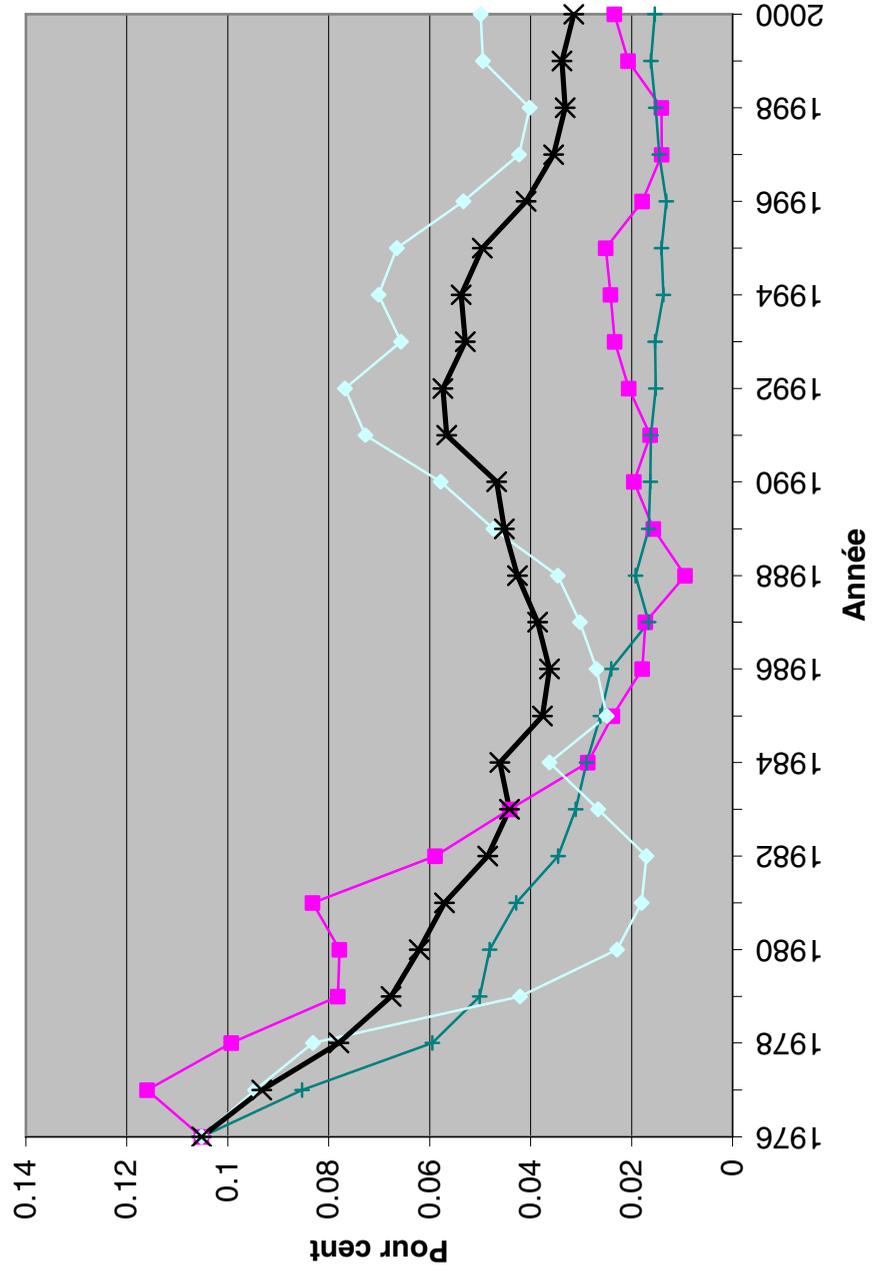


Figure 4: Taux d'augmentation des équipements



Le rapport entre l'augmentation des services routiers et l'évolution de l'indice de Toernquist a été estimé au moyen d'un modèle à effets fixes pour tenir compte du fait que des caractéristiques nationales inobservées influent sur le rapport entre les investissements en infrastructures routières et les effets sur la productivité macroéconomique qui sont censés rester constants dans le temps.

L'estimation de la différence entre l'augmentation de la productivité nationale et l'augmentation de la productivité en tant que fonction du produit de l'intensité nationale d'utilisation des véhicules et les services routiers nationaux et le produit de l'intensité globale d'utilisation des véhicules et les services routiers globaux donne les résultats rassemblés dans le Tableau 1.

Tableau 1. **Régression 1 à effets fixes**
Variables indépendantes pour les réseaux nationaux et internationaux

Nombre d'observations = 300

diffftp	Coefficient	Écart type	t	P > t	Intervalle de confiance 95 pour cent
Prod1	.7143729	.1921074	3.72	0.000	.3362493 1.092497
Prod2	-2.478365	.49504	-5.01	0.000	-3.452749 -1.503981
constante	.2947857	.0294078	10.02	0.000	.2369025 .352669

R au carré : intérieur = 0.0882
entre = 0.0266
général = 0.0458

Test F pour tous les $u_i = 0$: $F(11,286) = 53.41$ $Prob > F = 0.0000$

Le Tableau donne diffftp comme variable indépendante et prod1 et prod2 comme variables explicatives. Il donne aussi les coefficients d'estimation de ces dernières, les valeurs P et l'intervalle de confiance de 95 pour cent. Il montre que les coefficients d'estimation ont le signe attendu, c'est-à-dire que \emptyset est positif, parce que le coefficient du produit de la part des véhicules nationaux et des services routiers nationaux est positif, tandis que celui du produit de la part des véhicules globaux et des services routiers globaux est négatif. Une augmentation des services routiers nationaux induite par des investissements dans les infrastructures routières nationales améliore, toutes choses égales par ailleurs, le rapport entre la croissance de la productivité nationale et la croissance de la productivité du groupe de pays. Tous les coefficients sont hautement significatifs et le test F donne les résultats espérés. Il ressort toutefois des coefficients indiqués que les investissements routiers n'expliquent qu'une très petite partie des variations de l'augmentation de la productivité.

Il ressort du Tableau 2 que l'estimation de la différence de l'augmentation de la productivité aux niveaux national et international en tant que fonction de la différence entre les produits des parts des véhicules et des services routiers aux niveaux national et international ne change pas les résultats fondamentaux. \emptyset , le ratio des élasticités de la production du réseau routier et du parc de véhicules, reste positif. Le coefficient d'estimation est toutefois un peu moins significatif et les coefficients de régression sont même pires que dans le premier modèle.

Tableau 2. Régression 2 des effets fixes
Différence entre les réseaux routiers national et international
pondérés sur la base de la part des véhicules

Nombre d'observations = 300

diffftp	Coefficient	Écart type	t	P > t 	Intervalle de confiance 95 pour cent
diffprod	.6563709	.1964768	3.34	0.001	.2696527 1.043089
constante	.2159342	.0223437	9.66	0.000	.1719559 .2599126

R au carré : intérieur = 0.0374
 entre = 0.0266
 général = 0.0282

Test F pour tous les $u_i = 0$: $F(11,287) = 50.81$ $Prob > F = 0.0000$

Le troisième modèle d'estimation ajoute une variable chronologique muette au modèle n° 2. Cela améliore l'estimation dans la mesure où la signification statistique du \emptyset estimatif est améliorée et les coefficients de régression sont augmentés. Le coefficient peu élevé de la variable chronologique donne à penser qu'il n'y a pas de problème de corrélation illusoire due au fait que les variables indépendante et dépendante suivent la même évolution dans le temps.

Tableau 3. Régression 3 des effets fixes
Différence entre les réseaux routiers national et international
pondérés sur la base de la part des véhicules et variable chronologique illusoire

Nombre d'observations = 300

diffftp	Coefficient	Écart type	t	P > t 	Intervalle de confiance 95 pour cent
diffprod	.7982335	.1919924	4.16	0.000	.4203362 1.176131
year	.0139947	.0029731	4.71	0.000	.0081427 .0198466
constant	-27.6085	5.911197	-4.67	0.000	-39.24347 -15.97353

R au carré : intérieur = 0.1066
 entre = 0.0266
 général = 0.0528

Test F pour tous les $u_i = 0$: $F(11,286) = 54.46$ $Prob > F = 0.0000$

5. CONCLUSIONS

L'étude démontre que les investissements en infrastructures routières ont bel et bien des effets positifs sur la productivité macroéconomique, mais ne démontre en revanche pas qu'il soit justifié d'augmenter les investissements nationaux en infrastructures routières.

- Le taux de rentabilité implicitement proposé par l'analyse ne semble pas élevé (environ 5 pour cent pour beaucoup de pays)⁶. La modicité relative du taux de rentabilité n'est pas nécessairement due à un niveau trop élevé d'investissements, mais pourrait s'expliquer par leur mauvaise affectation au niveau local. Comme la demande de transport se répartit très inégalement dans l'espace et même dans le temps, les projets locaux d'investissement en infrastructures routières peuvent avoir un taux attendu de rentabilité élevé, alors même que leur taux global de rentabilité est faible.
- Le revenu plus élevé que les ressources données permettent de récolter pourrait aller de pair avec des coûts externes, par exemple des dommages environnementaux, eux aussi plus élevés. Par ailleurs, l'insuffisance des services de transport génère des coûts externes, sous la forme de pertes de temps, qui ne sont pas pris en compte dans les données tirées des comptabilités nationales qui ont été utilisées. S'il est certainement vrai que la PNB est un indicateur approximatif des progressions de bien-être, d'autres recherches sont nécessaires pour identifier la mesure dans laquelle l'impact des infrastructures de transport sur le revenu diffère de celui sur le bien-être.

L'analyse réalisée ci-dessus peut néanmoins donner une idée de ce que pourrait être un niveau approprié d'investissements en infrastructures, du moins s'il est posé en hypothèse que le partage des moyens d'investissement entre les différents projets est rationnelle. Il reste à étudier comment cette analyse macroéconomique peut se combiner avec des outils de planification pour répartir les ressources régionales en infrastructures et avec l'analyse coûts-avantages au niveau des projets.

NOTES

1. Aschauer (1989, 1990) a lancé le débat sur l'incidence des investissements publics sur la productivité. L'ampleur de l'incidence positive des investissements publics sur la productivité à laquelle il a conclu a été confirmée par Munnell (1990, 1992), Nadiri et Mamuneas (1994), Kocherlakota et Yi (1996), Morrison et Schwartz (1996) et Duggal *et al.* (1999).
2. Voir à ce sujet Aaron (1990), Hulten et Schwab (1991), Holtz-Eakin (1994) et Sturm et de Haan (1995).
3. Pour la mesure de l'augmentation de la productivité au moyen du résidu de Solow, voir Hall (1990) et les commentaires de Basu et Fernald (1997).
4. Pour l'incidence du commerce international sur la propension à investir en infrastructures de transport, voir Bougheas *et al.* (2003).
5. Les investissements routiers pourraient influencer sur les coefficients des échanges. Étant donné que l'endogénéité potentielle des coefficients de pondération risque donc de poser problème, on a utilisé la valeur moyenne pour la période étudiée. Cette formule avait été proposée par Case *et al.* (1993) qui avancent que les coefficients de pondération et les variables explicatives sont orthogonales, quand on donne à ces coefficients une valeur moyenne calculée sur plusieurs années. L'introduction des coefficients de pondération ne fait donc pas apparaître de corrélation entre les variables indépendantes et les résidus.
6. Le taux est obtenu en multipliant la part prise par le coût des investissements en véhicules dans la valeur ajoutée par le rapport de la valeur ajoutée à la valeur du réseau routier et en multipliant ensuite ce produit par \emptyset .

BIBLIOGRAPHIE

Aaron H. J., 1990. Discussion in: Munnell A. H. (Ed.), *Is There a Shortfall in Public Capital Investment?* Boston, Mass.

Aschauer D. A., 1989. *Is public expenditure productive?* Journal of Monetary Economics 23, pp. 177-200.

Aschauer D. A., 1990. *Why is infrastructure important?* In: Munnell A. H. (Ed.), *Is There a Shortfall in Public Capital Investment?* Boston, pp. 21-50.

Barro R. J. et Sala-i-Martin X., 1995. *Economic Growth*. New York.

Basu S. et Fernald J. G., 1997. *Returns to scale in U.S. production: estimates and implications*. Journal of Political Economy 105, pp. 249-283.

Black D. et Henderson J. V., 1999. *A theory of urban growth*. Journal of Political Economy 107, pp. 252-284.

Boarnet M. G., 1998. *Spillovers and the locational effects of public infrastructure*. Journal of Regional Science 38, pp. 381-400.

Boskin M. J., Robinson M. S. et Huber A. M., 1991. *Government saving, capital formation, and wealth in the United States* in Lipsey R. E. et Tice H. S. (Eds), *The Measurement of Saving, Investment, and Wealth*, Chicago, pp. 287-353.

Bougheas S., Demetriades P. O. et Morgenroth E. L. W., 2003. *Aspects internationaux de l'investissement public*. Revue canadienne d'économie 36, pp. 884-910.

Canning D., 1999. *Infrastructure's contribution to aggregate output*. Policy Research Paper de la Banque Mondiale, Washington D. C.

Canning D. et Bennathan E., sans date. *The social rate of return on infrastructure investment*. Document ronéotypé de la Banque Mondiale, Washington D. C.

Carlino G. et Voith R., 1992. *Accounting for differences in aggregate state productivity*. Regional Science and Urban Economics 22, pp. 597-617.

Case A. C., Rosen H. S. et Hines Jr J. R., 1993. *Budget spillovers and fiscal policy interdependence*. Journal of Public Economics 52, pp. 285-307.

CEMT/ECMT, juin 2004a. *Rapport statistique sur les accidents de la route, 2002*, sur CD Rom.

CEMT/ECMT, mai 2004b. *Base de données sur les infrastructures de transport*, non publié, édition de 2004.

Chandra M. et Thompson E., 2000. *Does public infrastructure affect economic activity? Evidence from the rural interstate highway system*. *Regional Science and Urban Economics* 30, pp. 457-490.

Cohen J. P. et Morrison Paul C. J., 2004. *Public Infrastructure investment, interstate spillovers, and manufacturing costs*. *Review of Economics and Statistics* 86, pp. 551-560.

Commission des Communautés Européennes, 2003. *Une initiative européenne pour la croissance - Investir dans les réseaux et la connaissance pour soutenir la croissance et l'emploi*. Rapport final au Parlement Européen, Bruxelles.

Duggal V. G., Saltzman C. et Klein L. R., 1999. *Infrastructure and productivity: a nonlinear approach*. *Journal of Econometrics* 92, pp. 47-74.

Federal Highway Administration (Administration fédérale des routes), 1976. *Development of the interstate program. America's highways 1776-1976*. Washington.

Fernald J. G., 1999. *Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity*. *American Economic Review* 89, pp. 619-638.

Hall R. E., 1990. *Invariance properties of Solow's productivity residual* in: Diamond P. (Ed.), *Growth/Productivity/Unemployment: Essays to Celebrate Bob Solow's Birthday*. Cambridge, Mass.

Holtz-Eakin D., 1994. *Public sector capital and the productivity puzzle*. *Review of Economics and Statistics* 76, pp. 12-21.

Holtz-Eakin D. et Lovely M. E., 1996. *Scale economies, returns to variety, and the productivity of public infrastructure*. *Regional Science and Urban Economics* 26, pp. 105-123.

Holtz-Eakin D. et Schwartz A. E., 1995. *Spatial productivity spillovers from public infrastructure: evidence from state highways*. *International Tax and Public Finance* 2, pp. 459-468.

Hulten C. R. et Schwab R. M., 1991. *Public capital formation and the growth of regional manufacturing industries*. *National Tax Journal* 44, pp. 121-134.

Joergensen D. W. et Yun K. -Y., 1991. *Tax reform and the cost of capital*. Oxford.

Kao C. et Chiang M., 2000. *On the estimation and inference of cointegrated regression in panel data* in: Baltagi B. H. (Ed.), *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels*, vol. 15 de *Advances in Econometrics*, Amsterdam.

Kelejian H. et Robinson D., 1997. *Infrastructure productivity estimation and its underlying econometric specification: A sensitivity analysis*. *Papers in Regional Science* 76, pp. 115-131.

Kocherlakota N. R. et Yi K. M., 1996. *A simple time series test of endogenous vs exogenous growth models: an application to the United States*. *Review of Economics and Statistics* 78, pp. 126-134.

Lucas R., 1988. *On the mechanics of economic development*. *Journal of Monetary Economics* 22, pp. 3-42.

- Lucas R. E., 2001. *Externalities and cities*. Review of Economic Dynamics 4, pp. 245-274.
- Lucas R. E. et Rossi-Hansberg E., 2002. *On the internal structure of cities*. Econometrica 70, pp. 1445-1476.
- Mankiw N. G., 1992. *The optimal underprovision of public goods*. Document de travail de l'Université de Harvard, Cambridge, Mass.
- Morrison C. J. et Schwartz A. E., 1996. *State infrastructure and productive performance*. American Economic Review 86, pp. 1095-1111.
- Munnel A., 1990. *How does public infrastructure affect regional economic performance?* in: Munnel A. (Ed.), *Is there a Shortfall in Public Capital Investment?* Boston, pp. 69-103.
- Munnel A., 1992. *Policy watch: Infrastructure investment and economic growth*. Journal of Economic Perspectives 6, pp. 189-198.
- Nadiri M. I. et Mamuneas T. P., 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.
- OCDE, octobre 2004a. *Ancienne base de données du commerce bilatéral STAN in ISIC Rev. 2, 1970-1995*.
- OCDE, octobre 2004b. *Base de données du commerce bilatéral STAN in ISIC Rev. 3, 1988-2002*.
- OCDE, juin 2004c. *Perspectives économiques de l'OCDE. Données annuelles et trimestrielles, 2004*.
- OCDE, septembre 2004d. *Base de données de l'OCDE sur la productivité, édition de 2004*.
- OCDE, juin 2004e. *Bases de données STAN pour l'analyse structurelle, édition de 2004*.
- Sturm J. E. et de Haan J., 1995. *Is public expenditure really productive?* Economic Modelling 12, pp. 60-72.

SYNTHÈSE DE LA DISCUSSION

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	107
2. MÉCANISMES DE TRANSMISSION DES EFFETS DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT SUR LA PRODUCTIVITÉ.....	108
2.1. Effets microéconomiques.....	108
2.2. Effets mésoéconomiques.....	109
2.3. Effets macroéconomiques sur le taux de croissance	110
3. ÉTUDES EMPIRIQUES DES EFFETS DES INVESTISSEMENTS EN INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT SUR LA PRODUCTIVITÉ	111
CONCLUSION	114
BIBLIOGRAPHIE.....	116

1. INTRODUCTION

Cette Table Ronde a fait partie d'une série de manifestations organisées dans le cadre de travaux de recherche relatifs aux outils susceptibles d'améliorer la planification des transports. Elle a été présidée par Hilde Meersman (Université d'Anvers). Des documents de référence ont été élaborés par David Canning (Université Harvard), Charles Hulten (Université du Maryland) et Andreas Kopp (Centre OCDE/CEMT de recherche sur les transports).

L'étude des effets macroéconomiques des investissements en matière d'infrastructures de transport est motivée par deux raisons. Premièrement, dans le cadre des politiques budgétaires et des transports, des parts importantes des budgets nationaux sont affectées aux investissements en infrastructures, généralement sans qu'il soit possible, à partir des montants, d'avoir une idée d'ensemble des projets et programmes prévus. Les débats organisés dans le cadre de la Table Ronde ont visé à déterminer comment les méthodes macroéconomiques pouvaient permettre de donner une indication approximative du volume des ressources financières qui doivent être allouées aux infrastructures de transport. Si les plans de dépenses reposent sur une analyse quantitative, ce sont souvent des mesures approximatives, comme la part des investissements en infrastructures de transport dans le PIB, dans des régions comparables ou sur des périodes données, qui sont utilisées pour obtenir un aperçu du volume de ressources nécessaires. En confiant à Sir Rod Eddington la réalisation d'une étude sur les transports (*Eddington Transport Study*, 2006), le Chancelier de l'Échiquier et le Secrétaire aux Transports au Royaume-Uni ont clairement manifesté l'intérêt des pouvoirs publics en matière d'estimations fiables quant aux besoins d'investissements en infrastructures de transport au niveau macroéconomique.

Deuxièmement, l'analyse macroéconomique des effets des investissements en infrastructures de transport sur la productivité fournit une indication synthétique des résultats sans permettre de cerner les modalités selon lesquelles les capacités supplémentaires du secteur des transports favorisent une utilisation plus efficace des ressources disponibles pour la société. La Table Ronde a examiné la question de savoir dans quelle mesure il s'agit là d'un point faible ou d'un point fort des études macroéconomiques par rapport à d'autres outils de planification. D'un côté, la planification de projets d'investissements en infrastructures est toujours établie à partir des effets microéconomiques des investissements, sur lesquels les études macroéconomiques ne donnent pas d'information. D'un autre côté, les méthodes de planification microéconomiques et mésoéconomiques, du fait des limites qui les caractérisent, aboutissent à un tableau incomplet de l'ensemble des incidences.

La section 2 de la présente synthèse fait le point sur les mécanismes par lesquels les investissements en infrastructures de transport induisent une augmentation du revenu global, afin de préciser le cadre des études macroéconomiques. Y sont présentées les voies, du point de vue microéconomique, régional et de la croissance, par lesquelles les investissements en infrastructures de transport ont des répercussions sur les performances économiques d'ensemble. La section 3 rend compte des débats sur les études empiriques des effets sur la productivité. Elle débute par l'exposé des discussions initiales dont ont fait l'objet plusieurs études selon lesquelles les investissements publics

en infrastructures en général et les investissements en infrastructures de transport en particulier ont des retombées très importantes. La Table Ronde a été l'occasion d'un examen des critiques faites à ces études et des méthodes mises au point pour y répondre.

Il ressort des documents de référence que, dans la plupart des cas, rien ne permet d'affirmer qu'il y ait un sous-investissement massif dans les infrastructures de transport. Un tel sous-investissement se refléterait dans des taux de rendement calculés, qui dépasseraient le taux de rendement de l'investissement privé. La Table Ronde a permis d'examiner les différences systématiques des résultats des études sur la productivité dans divers contextes régionaux et lors de différentes phases du développement économique des pays.

2. MÉCANISMES DE TRANSMISSION DES EFFETS DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT SUR LA PRODUCTIVITÉ

La première raison de l'intérêt particulier accordé aux effets des infrastructures de transport sur la productivité tient à la nature de biens partiellement publics de ces dernières. Les infrastructures sont caractérisées par le fait que, généralement, ou surtout lorsque la demande est faible, les équipements peuvent être utilisés par plusieurs utilisateurs sans que cela limite les avantages de chacun. En d'autres termes, dans ces conditions de demande, la consommation des services d'infrastructure est marquée par la « non-rivalité », qui est l'un des éléments permettant de définir un « bien public ». Lorsque le niveau de la demande est élevé, les installations d'infrastructure commencent à être saturées ; une utilisation supplémentaire a alors un effet négatif sur les avantages qu'en retirent les autres utilisateurs, et les coûts qu'elle implique sont susceptibles de l'emporter sur les avantages. Pour une offre appropriée de services d'infrastructure et la fourniture correspondante de stock d'infrastructures, il convient de faire la somme des avantages procurés aux différents utilisateurs, en les corrigeant des coûts de la congestion (Hulten, 2007). La répartition des avantages et l'attribution des coûts aux utilisateurs représentent des défis immenses pour la politique des transports. La Table Ronde s'est limitée à l'examen du côté « production » des effets des infrastructures.

2.1. Effets microéconomiques

Au niveau microéconomique, les investissements en infrastructures de transport sont susceptibles de favoriser l'accroissement de la productivité des entreprises. Selon la structure du marché, la hausse de la productivité se traduit par une augmentation des profits ou, sur des marchés où règne la concurrence par les prix, par une baisse des prix des marchandises et l'amélioration des avantages des consommateurs. La base des effets microéconomiques est une réduction des coûts de transport à l'arrivée et au départ.

La réduction des coûts de transport peut s'expliquer par deux raisons : premièrement, une extension du réseau d'infrastructures de transport augmente la densité des liaisons, réduisant les distances des trajets point à point. Plus le réseau est développé, moins les gains engendrés par la réduction des distances seront importants (Hulten, 1996).

Deuxièmement, l'ajout de nouvelles routes et l'augmentation des capacités sur les itinéraires existants peuvent atténuer la congestion et réduire les temps de déplacement. Dans des situations de congestion, moins de trajets peuvent être réalisés avec le même niveau de moyens que dans d'autres conditions, et le rendement du carburant est inférieur, de sorte qu'une baisse de la congestion aboutit également à une diminution des coûts monétaires des transports.

Une troisième raison tient peut-être à un effet sur la productivité au niveau de l'entreprise : si les techniques de fabrication impliquent la mise en place de grandes unités de production avec des coûts fixes importants, et si les coûts marginaux de la production sont constants ou augmentent seulement légèrement avec la production, les coûts par unité produite par l'entreprise diminueront au fur et à mesure de l'augmentation de la production. Les investissements en infrastructures de transport étendront la zone de marché de l'entreprise dont l'exploitation est réalisée dans ces conditions de production (Hotelling, 1929). L'accroissement de la zone de marché occasionnera, à son tour, une hausse du niveau de production de l'entreprise et, partant, diminuera les coûts par unité produite.

Un autre effet au niveau microéconomique a trait au secteur logistique (Lakshmanan et Anderson, 2002). Les économies résultant de la réduction des frais de transport portent notamment sur des éléments de coûts autres que le transport, tels que les frais de stockage, d'intérêts et d'assurance. Les producteurs industriels doivent décider de la taille des expéditions. Plus les commandes sont importantes, plus les coûts des achats sont faibles. Les coûts de base des transports par unité diminueront également avec la taille des expéditions. Toutefois, les coûts de portage des stocks, qui comprennent les frais d'intérêts, d'assurance et de stockage, seront moindres avec de petits lots de marchandises, puisque les volumes de marchandises stockées sont inférieurs. Les investissements en infrastructures de transport et la diminution connexe des frais de transport aboutiront à une optimisation des politiques en matière de stocks, des commandes d'expéditions plus petites et, par conséquent, une hausse générale de la productivité dans les secteurs de production.

L'idée selon laquelle le renforcement des infrastructures de transport – qui entraîne une réduction des frais de transport et une amélioration de la fiabilité du transport de marchandises – se traduit par une réduction des niveaux de stock a récemment été confirmée par Shirley et Winston (2004). Il ressort d'une étude antérieure sur les relations entre les temps de parcours et la logistique qu'une réduction de 1 pour cent du temps moyen de transport de marchandises conduit à une baisse de 0.5 pour cent des coûts de logistique. L'enquête, réalisée pour le secteur des instruments médicaux et chirurgicaux, a également montré que l'effet global sur la productivité est limité : il faudrait une baisse de 20 pour cent des temps de transport de marchandises pour induire des économies de 1 pour cent des recettes totales de ce secteur (Hickling, Lewis et Brod, 1995).

2.2. Effets mésoéconomiques

En fonction du modèle d'urbanisation, qui est susceptible d'avoir des effets d'hystérésis sur le développement interrégional des économies nationales et la mobilité de la main-d'œuvre, les investissements en infrastructures de transport peuvent avoir des répercussions notables sur la spécialisation régionale et l'augmentation des échanges résultant de la réduction des coûts des échanges entre les régions. Les avantages en terme d'échanges interrégionaux, consécutifs au renforcement ou à l'amélioration des installations d'infrastructure de transport, seront d'autant plus grands que la main-d'œuvre est moins mobile et les différences relatives des dotations en ressources sont plus marquées. Plus les gains résultant des échanges interrégionaux seront importants, plus l'effet sur la productivité sera fort.

Lorsque la main-d'œuvre est extrêmement mobile et les coûts moyens de production diminuent en fonction de la production de l'entreprise, l'augmentation des investissements en infrastructures et la réduction connexe des coûts de transport peuvent avoir deux effets. Premièrement, si les marchés des produits sont différenciés et les consommateurs ont une préférence pour la consommation de produits disponibles dans un choix toujours plus grand, les investissements infrastructurels induisent des retombées en termes de bien-être en générant la production d'un plus large éventail de biens. Un tel gain de bien-être n'apparaîtrait pas dans une étude sur la productivité. Dans bon nombre de secteurs industriels, les conditions de production sont telles qu'une augmentation de la gamme des biens intermédiaires disponibles se traduit par une hausse de la productivité. Si les biens intermédiaires sont des biens différenciés, une réduction des frais de transport occasionne des échanges interrégionaux de biens intermédiaires différenciés, qui aboutit à son tour à une croissance de la productivité dans les industries qui utilisent ces biens (Krugman, 1991 ; Fujita *et al.*, 1999).

Si la main-d'œuvre est très mobile, une réduction des coûts de la mobilité du fait de la hausse des investissements en infrastructures de transport renforcera les échanges entre secteurs, mais aussi les effets d'agglomération. Il en résulte donc des retombées positives pour la productivité, en raison de la disponibilité d'un éventail plus important d'intrants spécialisés et de l'extension de l'échelle de production au niveau de l'entreprise.

Les investissements en infrastructures urbaines, et le développement des transports urbains qui en découle, sont susceptibles d'améliorer le fonctionnement des marchés locaux de l'emploi (Arnott, 1998b ; Gobillon *et al.*, 2005). La notion d'inadéquation géographique repose sur l'idée que la ségrégation involontaire en matière de logements et le mauvais fonctionnement des réseaux de transports urbains découragent d'accepter des emplois sur des sites éloignés des lieux de résidence. Cela a été confirmé dans des études relatives à la situation aux États-Unis (Johnson, 2006) et dans les pays européens (Patacchini et Zenou, 2005). L'amélioration des relations employeur-employés entraîne des hausses de productivité, suite aux investissements en infrastructures de transport urbain.

Tous ces effets se reflètent au bout du compte dans des évolutions de la productivité de l'économie nationale.

2.3. Effets macroéconomiques sur le taux de croissance

Les investissements en infrastructures de transport peuvent également avoir des effets positifs sur la croissance à long terme de l'économie. Les facteurs déterminants des taux de croissance à long terme des économies nationales ont été étudiés dans le cadre de la théorie de la croissance « endogène » (Howitt et Aghion, 1998a).

L'une des approches théoriques de l'explication des évolutions économiques à long terme repose sur l'idée que l'éducation et l'acquisition de connaissances organisationnelles et techniques utiles à la production ne relèvent pas uniquement de décisions individuelles en matière de formation et d'enseignement, mais dépendent du degré d'interaction entre les personnes engagées dans des processus d'apprentissage individuel (Lucas, 1988).

L'amélioration des réseaux nationaux de transport pourrait contribuer au renforcement de l'interaction dans le cadre de l'accumulation de capital humain. Si tel est le cas, les infrastructures de transport pourraient non seulement induire des hausses de revenus exceptionnelles, du fait de l'augmentation de la productivité, mais aussi, indirectement, une évolution technique à long terme et la dynamique de la croissance du revenu.

3. ÉTUDES EMPIRIQUES DES EFFETS DES INVESTISSEMENTS EN INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT SUR LA PRODUCTIVITÉ

Les premiers travaux empiriques majeurs qui ont analysé le lien entre les investissements en infrastructures et la productivité macroéconomique ont été les études réalisées par Aschauer (1989 et 1990), qui a établi des fonctions de production globale pour les États-Unis, dans lesquelles figure une variable représentative des équipements publics. Ces études étayaient l'idée que les effets positifs seraient importants : l'élasticité de la production par rapport aux équipements publics allait de 0.36 à 0.56. Selon les estimations de Gramlich (1994), ces valeurs se traduiraient par des rendements bruts de 100 pour cent ou davantage par an, ou un temps de retour d'un an ou moins. Ces chiffres ont semblé irrationnels, mais ces études ont été confirmées par de nombreux autres ouvrages. Cinq ans après les études relatives au comportement d'investissement, un critique a noté que « ... 40 autres études économétriques au moins utilisant des données et des techniques différentes » ont vu le jour, donnant l'impression que « ... la bulle a grossi et pourrait même être près d'éclater » (Gramlich, 1994, p. 1177).

De fait, aujourd'hui encore, d'autres ouvrages sont publiés sur ce thème. Ils cherchent à déterminer pourquoi les études économétriques ne sont pas convaincantes concernant les évolutions des modalités de présentation du secteur de production, et à préciser les techniques économétriques utilisées, la portée géographique et le champ de l'étude, ainsi que les données utilisées. S'il n'y a pas de consensus pour ce qui est des enseignements tirés de ces débats, des éléments essentiels sont apparus :

- Nombre d'avis s'expriment en faveur de fonctions plus souples des équations utilisées pour calculer les estimations. Plus précisément, une fonction de coût souple est jugée plus appropriée que les fonctions de production des premières études.
- L'estimation des liens entre les « différences premières » de revenu ou de productivité, d'une part, et le stock d'infrastructures de transport de l'autre, aboutit à l'estimation d'un effet beaucoup moins élevé des investissements publics sur le revenu global, dont les chiffres sont parfois statistiquement non significatifs.
- L'utilisation de données de panel, c'est-à-dire de données régionales transversales pour un certain nombre de périodes, a souvent des résultats semblables.
- Il y a consensus sur le fait que l'estimation directe du lien entre les infrastructures et la production souffre d'un problème de « causalité inverse ». L'augmentation des revenus peut résulter des investissements en infrastructures de transport, mais il se peut également que l'accroissement des volumes de production ait entraîné davantage d'investissements. Affirmer simplement que la corrélation statistique entre les infrastructures de transport et la production est imputable entièrement aux infrastructures représente un problème économétrique de distorsion des équations simultanées, et implique une surévaluation du rendement des infrastructures publiques.

Deux des documents de référence tentent de faire face aux problèmes des méthodes basées sur les données de panel en mettant l'accent sur la définition des externalités des infrastructures de transport. Un troisième document se fonde sur une technique de cointégration, pour éviter les inconvénients des études économétriques concernant les liens entre le stock d'équipements de transport et les niveaux de la production globale.

Une première méthode permettant de déterminer les effets des investissements en infrastructures de transport sur la productivité, qui constitue un élément essentiel des documents de référence rédigés par Hulten (2007) et Kopp (2007), consiste à estimer la productivité en tant que fonction empirique du stock d'infrastructure. Dans le document élaboré par Hulten, la productivité est calculée à partir de l'augmentation de la production brute de l'industrie qui ne peut pas être expliquée par un accroissement des équipements, de la main-d'œuvre ou des biens intermédiaires utilisés dans la production.

La « productivité globale » est calculée en deux étapes. Le taux de croissance de la production brute est d'abord calculé en soustrayant le taux de croissance des facteurs de production (main-d'œuvre, capital privé, biens intermédiaires), pondéré pour chacun d'eux sur la base de leur contribution au revenu global, à partir du taux de croissance de la production brute réelle. Cette estimation résiduelle du taux de croissance de la productivité globale est alors convertie en niveaux. Cela permet de donner une valeur à la variable « productivité globale » pour chaque année et chaque région, dont la relation avec la variable infrastructure est calculée dans un deuxième temps.

Ce modèle de calcul a été appliqué au secteur manufacturier indien, au secteur manufacturier des États-Unis et à l'ensemble de l'économie espagnole (Mas *et al.*, 1998). La comparaison des résultats met en évidence les différences que le stade de développement et la géographie occasionnent lors de l'estimation des effets des investissements en infrastructures de transport sur la productivité. L'étude du secteur manufacturier indien fait apparaître un effet sur la productivité qui est substantiel et statistiquement significatif. Les incidences des infrastructures de transport sur la productivité ont représenté environ un quart de la productivité totale observée.

Contrairement aux résultats obtenus pour le secteur manufacturier indien, le paramètre indiquant l'effet des infrastructures de transport sur la productivité pour le secteur manufacturier américain est statistiquement nul. La productivité totale du secteur ne différait quasiment pas d'une région à l'autre. Compte tenu de la nature transversale de l'étude, les infrastructures n'ont guère de chance de jouer un rôle pour la productivité. La comparaison donne à penser que l'effet des infrastructures de transport sur la productivité et l'ampleur des retombées mentionnées à la section 2 dépendent de l'étendue des réseaux préexistants. Étant donné que la plupart des infrastructures de transport sont interconnectées, on peut supposer que les investissements totaux en infrastructures de transport ont un effet moindre dans des milieux urbanisés riches en infrastructures que là où les infrastructures accusent des déficiences significatives.

La Table Ronde a examiné la possibilité d'appliquer cette approche macroéconométrique au niveau des États souverains. Cet examen s'est basé sur un document de référence qui a utilisé les méthodes de données de panel pour analyser les données CEMT sur l'investissement en infrastructures concernant 13 pays d'Europe occidentale. Dans ce document, on a surmonté le problème posé par le fait que la demande de services d'infrastructures ne soit pas directement observable en considérant que cette demande est une demande dérivée, et qu'elle est conditionnée par la demande de véhicules. La production totale au niveau national et au niveau du groupe de pays dans son ensemble est exprimée sous la forme d'une fonction de l'apport privé en capital, main-d'œuvre et services de transport. Les services de transport dépendent à leur tour des facteurs « véhicules » et « services d'infrastructure ».

routière ». La croissance de la production qui ne peut pas être rapportée à une utilisation accrue de facteurs de production privés (main-d'œuvre, capital privé et véhicules) est alors considérée comme résultant de la fourniture de services d'infrastructure et d'influences aléatoires ou de chocs.

Par approximation, la fourniture de services d'infrastructure est généralement considérée comme étant égale à la valeur réelle des réseaux routiers nationaux. Dans le document de référence de la Table Ronde, la variable « fourniture d'infrastructure » tient compte de l'interdépendance des secteurs nationaux des transports et des différents niveaux de congestion dans les pays. L'utilisation du réseau routier par les usagers étrangers est reflétée par un indice combiné du stock d'infrastructure qui totalise les valeurs des infrastructures routières nationales et les pondère avec les valeurs des échanges bilatéraux entre paires de pays partenaires. En outre, l'indicateur de services routiers essaie de donner une idée de l'évolution de la congestion. La congestion n'a certainement pas lieu de manière homogène sur les réseaux routiers, et on obtient une estimation de ses évolutions, par approximation, à partir des évolutions constatées concernant le nombre de véhicules immatriculés dans un pays donné et les valeurs réelles du stock de capital.

Lors de l'utilisation d'un panel de données sur les infrastructures routières, le problème d'endogénéité, ou d'une possible influence des hausses de revenus sur l'augmentation des volumes d'investissement, est surmonté en décomposant les influences aléatoires au niveau national en un choc global pour le groupe de pays et un choc pour chaque pays. Le choc global représente la part de l'augmentation de revenu du groupe de pays qui ne peut pas être expliquée par les évolutions générales des intrants privés du groupe de pays. Le choc par pays équivaut à l'écart national par rapport au choc global et est donc, par définition, orthogonal à l'influence aléatoire globale.

Les données font apparaître que la part des investissements en infrastructures dans le PIB diminue dans les pays d'Europe occidentale. Malgré la baisse relative des investissements qui lui sont consacrés, le réseau routier continue à se développer. L'estimation de l'influence des investissements routiers sur l'évolution de la productivité donne à penser qu'il existe une incidence positive. La variance des investissements en infrastructures routières explique environ 10 pour cent de la hausse de la productivité dans les pays d'Europe dont les économies sont très développées. L'estimation ne révèle toutefois pas un sous-investissement marqué en matière d'infrastructures routières. Le taux de rendement estimé pour les investissements routiers correspondrait à un taux de rendement légèrement inférieur à celui du capital privé.

Le document de référence élaboré par Canning et Bennathan (2007) a confirmé que les taux de rendement des investissements routiers étaient en moyenne quelque peu inférieurs à ceux des investissements privés. Dans cette étude, une méthode différente a été utilisée pour éviter les problèmes d'endogénéité ou de causalité inverse des études macroéconomiques relatives aux effets des infrastructures des transports sur la productivité. Les résultats de l'étude s'appuient non sur la fonction de production de Cobb-Douglas, mais sur des fonctions de production translog. Cette forme fonctionnelle permet de donner des indications précieuses quant aux liens entre le niveau de développement économique des pays et les avantages retirés des investissements en infrastructures de transport. Ce document ne repose pas sur le calcul des infrastructures routières existantes en tant que facteur intervenant dans la production totale, utilisé dans d'autres études, mais sur les données physiques des routes revêtues en tant qu'indicateur de l'offre de services de transport routier.

Canning (1999) a montré que les séries chronologiques de données de facteurs et de production utilisées dans l'estimation d'une fonction de production sont non stationnaires. La fonction de production peut donc être estimée sous la forme d'une relation de cointégration. Une fonction d'investissement, où l'augmentation nette du stock de capital représente l'épargne d'une économie comme fonction du revenu, de laquelle il faut retrancher la dépréciation du stock de capital, constitue

également une relation de cointégration. L'utilisation de méthodes modernes de séries chronologiques ne permet donc pas à elle seule de faire face au problème de causalité inverse. Pour surmonter ce problème, on suppose, à partir d'études empiriques de l'investissement global, que la fonction de production est valable dans les différents pays, alors que la fonction d'investissement diffère d'un pays à l'autre, même s'ils ont des niveaux de revenus comparables.

Le terme d'erreur des séries chronologiques au niveau de chaque pays, qui résulte des différences de comportement réel d'investissement dans chaque pays par rapport à la moyenne mondiale, est donc non stationnaire et finit par avoir une valeur très importante. Avec ces hypothèses, la fonction de production peut être calculée en utilisant un estimateur dynamique des moindres carrés ordinaires (Kao et Chiang, 1999).

L'utilisation de la fonction de production translog permet de déterminer l'interdépendance qui existe entre les différents facteurs employés dans le processus de production. Le document de référence a montré qu'il y avait une complémentarité forte entre le capital physique et le niveau d'études de la population – le capital humain. En outre, il y avait une interaction positive entre les infrastructures de transport et d'autres formes d'équipements. Cela montre que les investissements infrastructurels ne sont pas suffisants à eux seuls pour induire de fortes variations de production, même s'ils peuvent se révéler très productifs dans les économies abondamment pourvues en capital physique et humain. Les investissements en infrastructures de transport font en outre augmenter la rentabilité des autres types d'investissement.

En considérant différents niveaux de revenu national, l'étude basée sur les techniques de cointégration a fait apparaître que les taux de rendement des investissements routiers étaient en moyenne équivalents ou inférieurs à ceux d'autres formes de capital. Il ressort toutefois de l'étude que la relation entre les taux de rendement des infrastructures de transport et le niveau de développement aurait la forme d'un U inversé. Dans les pays à revenu intermédiaire, les routes revêtues font cruellement défaut. Les rendements anormalement élevés qui témoignent de cette pénurie semblent la conséquence d'une période de croissance économique soutenue pendant laquelle le développement des capacités routières a pris du retard sur le renforcement du capital physique privé et l'essor de la base de connaissances des économies.

CONCLUSION

La Table Ronde poursuivait trois objectifs. D'abord, par l'examen des méthodes de planification, elle entendait améliorer l'élaboration des politiques de transport en facilitant les comparaisons entre programmes et projets concurrents. Ensuite, elle visait à dresser un tableau des méthodes d'évaluation des incidences macroéconomiques de l'investissement dans les infrastructures de transport. Enfin, elle avait pour ambition de faire ressortir les besoins critiques en matière de données, en vue de faire progresser les activités de collecte des données, et tout particulièrement celles de la CEMT relatives aux données concernant les investissements en infrastructures de transport.

En ce qui concerne le premier objectif, la Table Ronde a examiné l'importance relative des études macroéconomiques par rapport à d'autres instruments de planification. Les études macroéconomiques aident à déterminer les besoins globaux de financement pour les investissements en infrastructures, en

permettant d'établir les taux de rentabilité globale de ces investissements. Outre ses effets directs, le développement des infrastructures de transport peut avoir des effets externes positifs ou négatifs, c'est-à-dire des effets qui ne sont pas ressentis par les utilisateurs de services d'infrastructure. Les coûts environnementaux figurent parmi les principaux coûts externes, tandis que l'accroissement de la concurrence entre les producteurs de biens et de services est l'avantage externe majeur. Bon nombre des coûts externes des infrastructures de transport sont mis en lumière dans la plupart des analyses coûts-avantages classiques, mais c'est moins évident pour les avantages externes. Dans la mesure où les coûts et les avantages externes concernent la consommation des ménages et pas la production des entreprises, ils ne ressortent pas nécessairement des études macroéconomiques, qui sont uniquement axées sur les effets de production et de revenu. Il y a toutefois un certain nombre d'effets connexes des investissements en infrastructures de transport qui ne sont pas révélés dans les analyses coûts-avantages classiques. Plusieurs effets de l'investissement dans les infrastructures de transport comme l'incidence sur l'efficacité des systèmes logistiques ou les répercussions sur la croissance des changements induits dans les caractéristiques de l'urbanisation, sont peu ou pas du tout mis en évidence par les autres instruments de planification. Les études macroéconomiques viennent compléter ces autres instruments, comme les modèles informatisés d'équilibre général, qui se concentrent sur les effets interrégionaux ou intersectoriels des investissements en infrastructures de transport, ou l'analyse coûts-avantages, qui insiste sur les effets immédiats au niveau local, en considérant comme fixés les effets secondaires.

L'attention dont pourraient bénéficier les études macroéconomiques dans les discussions sur les politiques de transport a pâti des défauts méthodologiques d'études précédentes spectaculaires menées sur la productivité des dépenses publiques. La Table Ronde a examiné les progrès accomplis pour résoudre le problème de l'endogénéité, c'est-à-dire le problème économétrique de savoir si c'est l'investissement public qui a créé le revenu ou si c'est un revenu plus élevé qui a permis d'augmenter l'investissement. Des solutions à ce problème, au moyen d'analyses de séries chronologiques et de données de panel, ont été présentées. L'analyse des études empiriques antérieures fait apparaître que la relation quantitative entre l'investissement dans les infrastructures de transport et la croissance dépend du stade de développement atteint par la nation ou la région considérée.

Les participants à la Table Ronde ont déclaré importante l'extension accompagnée d'une meilleure harmonisation de la collecte des données sur les investissements en infrastructures de transport. Les comparaisons internationales ou interrégionales des politiques d'infrastructures diffèrent en ce qui concerne les méthodes employées pour tenir compte de l'usure et de la manière dont elles intègrent l'effet des dépenses d'entretien dans l'analyse. Ces différences ont une incidence sur le calcul de la valeur du stock de capital infrastructurel.

BIBLIOGRAPHIE

- Aghion, P., et P. Howitt (1998). *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, Mass.
- Arnott, R. (1998). *Economic theory and the spatial mismatch hypothesis*. Urban Studies 35, pp. 1178-1186.
- Aschauer, D. A. (1989). *Is public expenditure productive?* Journal of Monetary Economics 23, pp. 177-200.
- Aschauer, D. A. (1990). *Why is infrastructure important?* In A. H. Munnell (ed.), *Is there a Shortfall in Public Capital Investment?* Boston, Mass.
- Canning, D. (1999). *Infrastructure's contribution to Aggregate Output*. Policy Research Working Paper de la Banque Mondiale, No. 2246 Washington, D.C.
- Canning, D., et E. Bennathan (2007). *Le taux de rendement des infrastructures de transport*. In Centre OCDE/CEMT de recherche sur les transports (ed.), *Table Ronde 132 - Les investissements en infrastructures de transport et productivité*. Paris.
- Department for Transport (2006). *The Eddington Transport Study: Transport's Role in Sustaining the UK's Productivity and Competitiveness*. Londres.
- Fujita, M., P. Krugman, et A. Venables (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade*. Cambridge, Mass.
- Gobillon, L., H. Selod, et Y. Zenou (2005). *The mechanisms of spatial mismatch*. CEPR Discussion Paper 5346, Londres.
- Gramlich, E. M. (1994). *Infrastructure investment: A review essay*. Journal of Economic Literature 32, pp. 1176-96.
- Hickling Lewis Brod Inc. (1995). *Measuring the relationship between freight transport and industry productivity*. Final report NCHRP 2-17(4). Transportation Research Board. National Research Council Washington .
- Hotelling, H. (1929). *Stability in competition*. Economic Journal 39, pp. 41-57.
- Hulten, C. R. (1996). *Infrastructure capital and economic growth: how you use it may be more important than how much you have*. NBER Working Paper 5847, Cambridge, Mass.

- Hulten, C. R. (2007). *Infrastructures de transport, productivité et externalités*. In Centre OCDE/CEMT de recherche sur les transports (ed.), Table Ronde 132 - Les investissements en infrastructures de transport et productivité. Paris.
- Johnson, R. C. (2006). *Landing a job in urban space*. *Regional Science and Urban Economics* 36, pp. 331-372.
- Kao, C., et M. H. Chiang (1999). *On the estimation and inference of cointegrated regression in panel data*. Document non publié, Université de Syracuse.
- Kopp, A. (2007). *Incidence des investissements routiers sur la productivité macroéconomique – Réévaluation du cas de l'Europe occidentale*. In Centre OCDE/CEMT de recherche sur les transports (ed.), Table Ronde 132 - Les investissements en infrastructures de transport et productivité. Paris.
- Krugman, P. (1991). *Geography and Trade*. Louvain.
- Lakshmanan, T. R., et W. R. Anderson (2002). *Transportation Infrastructure, Freight Services Sector and Economic Growth*. White Paper prepared for the US DOT/FHWA. Center for Transportation Studies, Boston.
- Lucas, R. E. (1988). *On the mechanics of economic development*. *Journal of Monetary Economics* 22, pp. 3-42.
- Mas, M., J. Maudos, F. Pérez, et E. Uriel (1998). *Public capital, productive efficiency and convergence in the Spanish Regions (1964-1993)*. *Review of Income and Wealth* 44.
- Patacchini, E., et Y. Zenou (2005). *Spatial mismatch, transport mode and search decisions in England*. *Journal of Urban Economics* 58, pp. 62-90.
- Shirley, C., et C. Winston (2004). *Firm inventory behaviour and the returns from highway*.

LISTE DES PARTICIPANTS

Prof. Hilde MEERSMAN
University of Antwerp
Prinsstraat 13
B-2000 ANTWERP
BELGIQUE

Président

Professor David CANNING
Harvard University
Department of Population and International Health
SPH I – 11th Floor
665 Huntington Avenue
BOSTON, MA 02115
ÉTATS-UNIS

Rapporteur

Professor Charles HULTEN
University of Maryland
Department of Economics
Room 3105, Tydings Hall
College Park, MD 20742
ÉTATS-UNIS

Rapporteur

Dr. Helmut ADELSBERGER
Head of Department Transport Infrastructure Planning I/K4
Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology
Department I/K6
EU and International Affairs
Radetzkystrasse 2
A-1030 WIEN
AUTRICHE

Mme Christiane DELEPIERE-DRAMAIS
Directeur de recherche
Université Libre de Bruxelles
Centre interuniversitaire d'étude de la
mobilité (CIEM)
Avenue F. Roosevelt 50 (CP 194/7)
B-1050 BRUXELLES
BELGIQUE

Prof. Panicos DEMETRIADES
Department of Economics
University of Leicester
University Road
GB- LEICESTER, LE1 7RH
ROYAUME-UNI

Mr. Knut Sandberg ERIKSEN
Senior Research Economist
Institute of Transport Economics (TOI)
Postboks 6110 Etterstad
N-0602 OSLO
NORVÈGE

Mr. Antonio ESTEVAN
Ingeniero Industrial
Gabinete de Economia Aplicada S.L.
Puerta del Sol 13
E-28013 MADRID
ESPAGNE

Prof. Peter J. MACKIE
Deputy Director
University of Leeds
Institute for Transport Studies
36 University Road
GB- LEEDS, LS2 9JT
ROYAUME-UNI

Prof. Silvia MAFFII
TRT Trasporti e Territorio SRL
Via Rutila, 10/8
I-20146 MILANO
ITALIE

Mr. Jan-Eric NILSSON
PO Box 760
S-781 27 BORLANGE
SUÈDE

Mr Rémy PRUD'HOMME
Professeur à l'IUP
6, rue des Haudriettes
F-75003 PARIS
FRANCE

Mr. Wolfgang SCHADE
Universität Karlsruhe
Institut für Wirtschaftspolitik und
Wirtschaftsforschung (IWW)
Postfach 69 80
D-76128 KARLSRUHE
ALLEMAGNE

Mr. Paul SCHREYER
Head of Division
Statistics Directorate
Prices and Outreach Division (STD/POD)
OECD
2 rue André Pascal
F-75775 PARIS Cedex 16
FRANCE

Mr. Barrie STEVENS
Deputy to the Director
Forum for the Future Conferences
Advisory Unit on Multi-Disciplinary Issues
OECD
2 rue André Pascal
F-75775 PARIS Cedex 16
FRANCE

Prof. Wojciech SUCHORZEWSKI
Warsaw University of Technology
Institute of Roads and Bridges
Al. Armii Ludowej 16
PL-00637 WARSAW
POLOGNE

Mrs Pauline WORTELBOER-VAN DONSELAAR
Ministry of Transport, Public Works and Water Management
AVV Transport Research Team
P O Box 1031
NL-3000 BA ROTTERDAM
PAYS-BAS

Mr Jerzy WRONKA
Ass. Prof. D. Econ
Research Institute for Transport Economics
Korzeniowskiego 1
P. Box 996
PL-70-952 SZCZECIN 2
POLOGNE

SECRETARIAT DE LA CEMT

CENTRE CONJOINT DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

Dr. Andreas KOPP – Économiste en Chef

Dr. Michel VIOLLAND - Administrateur

Mr. Colin STACEY - Administrateur

Mlle Françoise ROULLET - Assistante

Mrs Julie PAILLIEZ - Assistante

ÉGALEMENT DISPONIBLES

Évaluer les avantages des transports (2001)

(75 2001 09 2 P) ISBN 92-821-2362-6

Transport et développement économique. Série CEMT – Table Ronde 119^{ème} (2002)

(75 2002 10 2 P) ISBN 92-821-2298-0

Politiques spatiales et transports : le rôle des incitations réglementaires et fiscales. Série CEMT – Table Ronde 124^{ème} (2004)

(75 2004 09 2 P) ISBN 92-821-2322-7

L'intégration européenne des transports ferroviaires de marchandises. Série CEMT – Table Ronde 125^{ème} (2004)

(75 2004 06 2 P) ISBN 92-821-1320-5

Les aéroports : des plaques tournantes multimodales. Série CEMT – Table Ronde 126^{ème} (2005)

(75 2005 03 2 P) ISBN 92-821-0340-4

16^{ème} Symposium International sur la Théorie et la Pratique dans l'Économie des Transports. 50 ans de recherche en économie des transports (2005)

(75 2005 05 2 P) ISBN 92-821-2334-0

Le temps et les transports. Série CEMT – Table Ronde 127^{ème} (2005)

(75 2005 04 2 P) ISBN 92-821-2332-4

Systèmes nationaux de planification des infrastructures de transport. Série CEMT – Table Ronde 128^{ème} (2005)

(75 2005 10 2 P) ISBN 92-821-2343-X

L'offre de transports : les limites de la (dé)réglementation. Série CEMT – Table Ronde 129^{ème} (2006)

(75 2006 02 2 P) ISBN 92-821-2347-2

Transport et commerce international. Série CEMT – Table Ronde 130^{ème} (2006)

(75 2006 13 2 P1) ISBN 92-821-1340-X

Les transports et la décentralisation. Série CEMT – Table Ronde 131^{ème} (2006)

(75 2006 12 2 P1) ISBN 92-821-1344-2

Vous pourrez recevoir par email des informations sur les nouvelles publications de l'OCDE en vous inscrivant sur www.oecd.org/OECDdirect

Vous pourrez les commander directement sur www.oecd.org/bookshop

Vous trouverez des informations complémentaires sur la CEMT sur www.cemt.org

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(74 2007 04 2 P) ISBN 978-92-821-0126-1 – n° 55558 2007

INVESTISSEMENTS EN INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET PRODUCTIVITÉ DE L'ÉCONOMIE

Cette Table Ronde fait partie d'une série de manifestations scientifiques organisées pour réfléchir aux instruments qui permettent d'améliorer la planification des transports.

En abordant les effets macroéconomiques des politiques d'infrastructures de transport, elle visait à dresser un inventaire des outils analytiques et empiriques qui servent à déterminer le volume global des dépenses publiques à engager dans l'investissement en infrastructures de transport. La Table Ronde s'est en outre employée à recenser les méthodes les plus récentes d'évaluation des retombées macroéconomiques de l'investissement en infrastructures de transport.

Les études macroéconomiques aident à définir les besoins totaux de financement liés aux investissements d'infrastructure, tout en permettant de calculer la rentabilité de ces investissements.

L'investissement en infrastructures de transport produit plusieurs effets, par exemple sur l'efficacité des systèmes logistiques ou sur la croissance par la transformation des structures urbaines qu'il induit, effets que d'autres instruments de planification ne peuvent pas cerner, ou dont ils rendent compte de façon incomplète.

Les documents de référence ont été fournis par MM. David Canning (Université de Harvard) Charles Hulten (Université du Maryland) et Andreas Kopp (Centre conjoint OCDE-CEMT de recherche sur les transports).

