



République du  
*Sénégal*

Un Peuple - Un But - Une Foi

MINISTRE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES

**DIRECTION DE LA PREVISION ET DES  
ETUDES ECONOMIQUES**



*Document de travail N°02*

**IMPACT DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES  
SUR LA PRODUCTIVITE DES ENTREPRISES  
AU SENEGAL**

DPEE/DEPE @ Août 2007

# Impact des infrastructures publiques sur la productivité des entreprises au Sénégal

---

Août 2007

**Youssoupha S. DIAGNE**

**Alsim FALL<sup>1</sup>**

## **RESUME :**

Le présent document cherche à apprécier l'effet du capital public d'infrastructures sur la productivité des entreprises du secteur moderne sénégalais. L'échantillon considéré dans le cadre de cette étude regroupe dix branches d'activité du secteur moderne sénégalais. La méthodologie adoptée permet une décomposition de la croissance de la productivité totale des facteurs (PTF) laquelle fait intervenir la contribution du capital d'infrastructures. Les vérifications empiriques sont rendues possibles par l'utilisation d'outils économétriques relativement novateurs garantissant une robustesse des estimations. Les résultats montrent que les infrastructures publiques jouent un rôle important dans la croissance de la productivité des entreprises, à travers la réduction du coût de production. De plus, sur la période 2000-2004, le taux de croissance des infrastructures publiques est jugé satisfaisant dès lors qu'il se situe au delà du niveau minimal requis pour améliorer la PTF.

**Classification JEL: E22, EG2, D24, D29**

**Mots Clés :** Infrastructures publiques, Capital public, Productivité total des facteurs, Coût de production, Gain marginal.

## **ABSTRACT:**

This paper intends to measure the effects of public infrastructures on firms' productivity from a sample of 10 subsectors of the Senegalese modern sector. The model used for that purpose is based on the decomposition of the Total Factor Productivity (TFP) growth which includes the contribution of the capital of infrastructures. Innovative econometric techniques such as Fully Modified OLS (FMOLS) are made use of guaranteeing the robustness of estimates. Our findings reveal that public capital significantly contributes to the productivity growth through cost reduction. Moreover, over the period 2000 – 2004, the growth rate of the public infrastructures is considered to be satisfactory since it is located beyond the minimal level required to improve the PTF.

**JEL Classification: E22, EG2, D24, D29**

**Keywords:** Public infrastructures, Public capital, Total Factor Productivity, Production Cost, Marginal Gain

---

<sup>1</sup>Les auteurs tiennent particulièrement à remercier les participants aux différentes réunions de validation du présent document. Les points de vue exprimés dans ce document n'engagent pas la DPEE

## SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
I. CADRE THEORIQUE .....	5
I – 1. REVUE DE LA LITTERATURE .....	5
I – 2. METHODOLOGIE.....	7
I – 2 – 1. FONCTION DE COÛT .....	7
I – 2 – 2. PARAMETRES DE LA FONCTION DE COUT.....	8
I – 2 – 3. DETERMINATION DES ELASTICITES D’ECHELLE DE COUT ET DE PRODUCTION .....	9
I – 2 – 4. FONCTION DE DEMANDE.....	10
I – 2 – 5. INFRASTRUCTURES PUBLIQUES ET PRODUCTIVITE.....	11
II. APPLICATION AUX DONNEES DU SENEGAL .....	13
II – 1. DESCRIPTION ET TRAITEMENT DES DONNEES.....	14
II – 1 – 1. LES FACTEURS DE PRODUCTION PRIVES.....	16
II – 1 – 2. LE STOCK DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES .....	18
II – 2. ESTIMATION DE LA FONCTION DE COÛT.....	18
II – 3. ESTIMATION DE LA FONCTION DE DEMANDE.....	22
II – 4. CONTRIBUTION DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES AU NIVEAU .....	23
DE LA BRANCHE .....	23
II – 4 – 1. LES ELASTICITES D’ECHELLE .....	23
II – 4 – 2. LES GAINS MARGINAUX .....	27
II – 4 – 3. DECOMPOSITION DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITE TOTALE DES FACTEURS .....	28
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	33
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	35
ANNEXE 1 : DECOMPOSITION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE DES FACTEURS .....	38
ANNEXE 2 : RESULTATS DES TESTS DE RACINE UNITAIRE ET DE COINTEGRATION SUR PANEL.....	43

## INTRODUCTION

Les économies des pays en développement sont en général caractérisées par des industries se heurtant à des difficultés liées à un manque de compétitivité. Des mesures sont initiées par les gouvernements de ces pays dans le but de relancer la productivité des entreprises. Ces actions peuvent être de plusieurs ordres. Elles peuvent se traduire, par exemple, par un renforcement des capacités en infrastructures ou encore un allégement fiscal. Ces mesures sont destinées à réduire les coûts de production et à améliorer la performance des entreprises. Il serait logique de considérer cette intervention de l'Etat comme un accompagnement des facteurs privés dans le processus de production quoique dans certains cas les dépenses publiques peuvent exercer un effet d'éviction sur l'investissement privé. Cette dernière situation correspond au cas où par exemple, le financement de l'investissement public se fait par crédit bancaire réduisant ainsi le volume de crédits disponibles, ou encore au cas où l'investissement public est substituable à l'investissement privé.

La productivité est un élément pouvant être assimilé à un indicateur de compétitivité. C'est ainsi que Zinnes et al. (2001) en étudiant la compétitivité des économies des pays émergents, ont trouvé une forte corrélation entre l'évolution de la productivité et des indicateurs clés de développement. Nordhaus (2001) a également montré la pertinence d'une relation directe entre la productivité et la création de richesses. Améliorer la productivité devient dès lors une stratégie de croissance si bien qu'identifier les facteurs agissant comme des stimulants de celle-ci revêt une importance essentielle.

Depuis les indépendances, le secteur industriel sénégalais est caractérisé par une baisse tendancielle de la productivité. Face aux difficultés relatives au manque de compétitivité, l'ouverture extérieure a été adoptée comme une politique efficace de relance de l'industrie. Cela fut le cas de la période post-indépendance et ce jusqu'en 1985, année d'adoption de la Nouvelle Politique Industrielle (NPI) en collaboration avec la Banque Mondiale. Les principaux objectifs étaient de soutenir les exportations, de désengager l'Etat des activités industrielles, d'améliorer la production, et d'élargir le champ industriel.

Au total, la NPI s'est soldée par un échec, en raison notamment du retard dans la mise en oeuvre des mesures d'accompagnement, des faiblesses du cadre institutionnel et de la surévaluation du franc CFA. La dévaluation du franc CFA survenue en 1994 avait pour objectif notamment de relancer la croissance tirée par les exportations. Cependant, les coûts des facteurs de production restent élevés et les infrastructures de base insuffisantes. Ce constat est confirmé par les résultats de Latreille et Varoudakis (1996) qui ont montré que le manque

de compétitivité des industries sénégalaises était plutôt lié à la faiblesse des gains de productivité elle-même étant la conséquence d'un faible niveau des infrastructures publiques de base. Ce constat justifie la pertinence d'une étude de l'impact d'un apport en terme d'infrastructures sur la productivité du secteur privé. La légitimité d'une telle étude est renforcée par le contexte actuel du pays marqué par l'engagement de l'Etat du Sénégal à apporter des solutions durables aux difficultés liées aux infrastructures en engageant des travaux d'intérêt public de haute envergure. On peut citer à ce propos les exemples de l'autoroute à péage Dakar – Thiès, ou encore les projets de construction de la plateforme aéroportuaire de Diass et des nouvelles centrales électriques. Dès lors, il apparaît intéressant de voir dans quelle mesure un accroissement des infrastructures publiques favorise de meilleures performances de l'économie sénégalaise à travers ses effets induits sur la productivité des entreprises. C'est ce que se propose d'effectuer la présente étude qui cherche à mesurer la contribution du capital d'infrastructures publiques dans la productivité totale des facteurs (PTF) des entreprises du secteur moderne sénégalais.

Il faut noter que peu de travaux relatifs au rôle des intrants publics dans la production du secteur privé, ont été réalisés pour le Sénégal (Latreille et Varoudakis, 1996 ; Mesplé-Somps et Dumont, 2000). Toutefois, ces études s'appuient en général sur les dépenses d'investissements publics et non le stock de capital public productif. De plus, l'évolution des outils économétriques conduit à mieux apprécier la relation entre le stock de capital d'infrastructures et la productivité. Une innovation majeure de cette étude réside dans le fait qu'elle s'appuie sur des techniques d'estimation permettant d'aboutir à des estimateurs de long terme robustes traitant en même temps l'éventuel problème de l'endogénéité du capital public. Les tests de racine unitaire et de cointégration sur données de panel sont préalablement effectués sur les séries afin de mieux s'assurer de la fiabilité des estimations.

La section suivante est consacrée au cadre théorique de l'étude et fera le point sur la revue de la littérature et la méthodologie. Cette méthodologie inspirée de Nadiri et Mamuneas (1994 b) consiste à décomposer la productivité totale des facteurs. L'approche duale de minimisation de la fonction de coûts conjuguée à l'estimation d'une fonction de demande permettra d'atteindre cet objectif. Une application aux données du Sénégal fera l'objet de la troisième section. L'étude porte sur 10 branches d'activité du secteur moderne. Enfin, la dernière section est réservée à la conclusion.

# I. CADRE THEORIQUE

## I – 1. REVUE DE LA LITTERATURE

Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'impact du capital public sur la productivité des entreprises. La recherche des causes du ralentissement de la production du secteur privé constaté aux Etats-Unis et dans la plupart des pays industrialisés pendant les années 1970, a conduit de nombreux auteurs à s'intéresser aux déterminants de la croissance. En particulier, Aschauer (1989) partant du constat de la baisse des efforts d'investissement public pour la même période a étudié le rôle du capital public sur la productivité des entreprises.

L'analyse quantitative de la contribution du capital public à la production du secteur privé a pourtant initialement été le fait de Ratner (1983) ou encore Eberts (1986). Cependant, l'intérêt porté aux travaux de Aschauer (1989) tient au niveau élevé de l'élasticité de la production par rapport au capital public, soit de 0,39 supérieure à l'impact du capital privé. Ce résultat coïncidant avec une période de ralentissement de l'activité industrielle aux Etats Unis, Aschauer (1989) ainsi que Holtz-Eakin (1988), Munnell (1990), Lynde et Richmond (1993) se sont accordés à associer ce phénomène à une baisse de l'effort mobilisé en matière d'investissement public. Ce résultat a été contesté du point de vue méthodologique par des auteurs tels que Aaron (1990), Schultze (1990) et Tatom (1991) qui ont abouti à un coefficient plus faible en prenant en compte la non stationnarité des variables. Les estimations sur données de panel réalisées par Garcia-Milà et Mc Guire (1992), Holtz-Eakin (1994), et Munnell (1990), Hurlin (1999) viennent conforter l'idée selon laquelle l'impact du capital public sur la production serait modéré. L'étude réalisée par Harchaoui et Tarkhani (2003) à partir d'un panel formé de 37 branches d'activité de l'industrie canadienne a abouti à un effet significatif mais faible de l'intrant public sur la productivité.

Garcia-Milà, Mc Guire et Porter (1996) sur la base de l'estimation d'une fonction de Cobb-Douglas sur données de panel en différences premières, concluent à un impact non significatif et négatif du capital public. Canning et Pedroni (1999) prolongent les travaux de Holtz-Eakin (1994) et Garcia-Milà, McGuire et Porter (1996) basés sur des spécifications de panel à effets fixes, en mettant l'accent sur le caractère hétérogène des paramètres et sur les tests de racines unitaires et de cointégration. Selon eux, les estimations doivent être effectuées séparément pour chaque pays. Cette remarque rejoint celles de Pesaran et Smith (1995) et Lee, Pesaran et Smith (1998) selon lesquelles le fait de considérer à tort que les paramètres sont communs,

peut causer des biais dans l'estimation. Les résultats de leur étude ont révélé l'existence d'un niveau d'infrastructures permettant de maximiser la croissance. En dessous de ce niveau, un accroissement des infrastructures serait bénéfique pour la croissance. Par contre, un impact négatif sur la croissance est à prévoir en cas d'apport supplémentaire en infrastructures lorsque le niveau optimal de l'intrant public est dépassé. Dans la même lignée, Canning et Bennathan (2000) introduisent une hétérogénéité des paramètres en décomposant leur échantillon en fonction du niveau de revenu. Ils concluent que les pays les plus pauvres sont caractérisés par des élasticités faibles et non significatives relativement aux infrastructures alors que le contraire est observé pour les pays riches. Colletaz et Hurlin (2006) ont également estimé à partir d'une fonction de production de type Cobb-Douglas un panel hétérogène avec les élasticités de production par rapport au capital public et par rapport au capital privé pouvant varier en fonction du temps. Cette étude a abouti à des résultats largement inférieurs à ceux trouvés notamment par Aschauer.

Ainsi comme l'a remarqué Hurlin (1999), les principales conclusions des études portant sur l'effet du capital public montrent à quel point les résultats sont sensibles à la spécification du modèle économétrique.

Pour ce qui est du Sénégal, il existe peu d'études traitant du rôle du capital public dans la productivité des entreprises. On compte entre autres, Latreille & Varoudakis (1996) et Dumont et Mesplé-Somps (2000). Les premiers ont montré que le manque de compétitivité des industries manufacturières est lié à la faiblesse des gains de productivité, elle-même due notamment à la baisse du rythme des investissements publics. Leurs résultats ont révélé un rôle du capital public comme facteur favorisant l'émergence d'économies externes<sup>2</sup>. Ils ont identifié un seuil du ratio du capital public au capital total du secteur manufacturier, au-delà duquel des économies externes positives apparaissent. Cependant, en deçà de ce seuil, les investissements publics seraient considérés comme insuffisants et agiraient négativement sur la productivité. Dumont et Mesplé-Somps se sont également intéressés à l'impact d'une politique expansionniste des infrastructures sur la productivité à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable. Cependant, ils ont analysé de plus près le mode de financement des dépenses publiques. Ils ont conclu qu'un financement par les taxes indirectes apparaît préférable à l'aide internationale.

---

<sup>2</sup> Gains associés à la concentration des entreprises, l'amélioration de l'accès à des fournisseurs de produits intermédiaires et de matières premières, ou l'accès à une main-d'oeuvre relativement plus qualifiée grâce à l'apprentissage par la pratique.

Diagne et Fall (2006), à partir du modèle SIMPRES Révisé (modèle de Simulation et de Prévision de l'Economie Sénégalaise), ont conclu à un effet d'entraînement significatif d'une politique d'accroissement des investissements publics sur l'investissement privé et sur la croissance.

## I – 2. METHODOLOGIE

### I – 2 – 1. FONCTION DE COÛT

La microéconomie définit généralement la fonction de coût comme un moyen pour mesurer les coûts minimums de production étant donnée le niveau d'output, les prix des facteurs et les progrès techniques.

Selon la nature des facteurs de production on distingue deux types de fonction de coût.

– A court terme, certains facteurs de production sont fixés à des niveaux prédéterminés, c'est le cas des infrastructures publiques ( $G$ ). Dans ce cas, les fonctions de demande conditionnelle de facteurs à court terme dépendront habituellement de  $G$  et la fonction de coût à court terme peut alors s'écrire:

$$C_0(w_i, z, G, Y, t) = \sum_i^N w_i Z_i(w_i, z, G, Y, t) + zG = C(w_i, z, G, Y, t) + zG$$

où  $C_0(.)$  et  $C(.)$  désignent respectivement les fonctions de coût totale et de coût variable.

Avec  $i = 1, \dots, N$  le nombre de facteurs variables,  $Y$  le niveau d'output,  $Z_i$  et  $w_i$  représentent respectivement le  $i$ ème facteur variable et son prix,  $z$  le prix du facteur fixe (c'est à dire le capital d'infrastructure) et enfin,  $t$  désigne les progrès techniques.

– A long terme tous les facteurs sont supposés variables de sorte que la firme optimise son choix de  $G$ . Par conséquent, la fonction de coût à long terme dépend uniquement des prix des facteurs, du niveau d'output et des progrès techniques. En se servant de la fonction de coût à court terme on peut exprimer celle à long terme de la façon suivante :

Désignons par  $G(w_i, z, Y, t)$ , le choix optimal du facteur fixe et  $Z_i[w_i, z, G(w_i, z, Y, t), Y, t]$ , le choix optimal à long terme des facteurs variables. La fonction de coût à long terme peut dès lors s'écrire :  $C^*(w_i, z, Y, t) = \sum_i^N w_i Z_i[w_i, z, G(w_i, z, Y, t), Y, t] + zG(w_i, z, Y, t)$ .



Dans ce qui suit, nous utiliserons fréquemment les fonctions de coût des facteurs variables à court terme et long terme dénommées respectivement  $C(w_i, z, G, Y, t)$  et  $C^*(w_i, z, Y, t)$ <sup>3</sup>. Les correspondances entre ces deux types de fonction pourront être établies grâce à la statique comparative.

Selon toute vraisemblance, aucun prix du marché ne peut être attribué aux services des infrastructures publiques mais il est possible de déterminer son prix fictif comme étant la réduction de coût associée à une augmentation marginale de  $G$ , soit :  $-\frac{\partial C}{\partial G} = z$ . Ce prix du capital public (appelé aussi « gain marginal ») est interprété comme la disponibilité à payer pour acquérir ces services publics.

### I – 2 – 2. PARAMETRES DE LA FONCTION DE COUT

Bon nombre de chercheurs utilisent la forme fonctionnelle de type Cobb-Douglas pour représenter le comportement de l'entreprise ou d'un système économique. Cette spécification, si elle vaut pour sa simplicité, n'en est pas moins sujette à des critiques quant à sa conformité avec la réalité. Il est donc préférable de choisir une forme paramétrique plus flexible pour représenter les arbitrages techniques. Si on opte pour une forme fonctionnelle arbitraire comme fonction de production, alors on devra calculer les demandes de facteurs correspondantes et la fonction de coût associée. Seulement, il est plus aisé de commencer par choisir la forme paramétrique de la fonction de coût pour ensuite dériver de manière simple les demandes de facteurs.

Ainsi, pour l'estimation des paramètres de la fonction de coût, nous supposons que, pour chaque branche d'activité, celle-ci est représentée par une fonction translog dont la forme fonctionnelle est la suivante<sup>4</sup> :

---

<sup>3</sup> Pour faciliter la lecture, dans ce qui suit les expressions suivantes sont équivalentes  
 $C(w_i, z, G, Y, t)$  = fonction de coût variable à court terme = fonction de coût privé  
 $C^*(w_i, z, Y, t)$  = fonction de coût variable à long terme = fonction de coût total

<sup>4</sup> Il est démontré que les fonctions de coût sont des fonctions non décroissantes, homogènes, concaves et continues par rapport aux prix. Le choix de la forme fonctionnelle du type translog se justifie par le fait qu'elle permet de vérifier de telles propriétés.

$$\begin{aligned}
\log(\tilde{C}) = & \phi_0 + \phi_K \log(\tilde{w}_K) + \phi_L \log(\tilde{w}_L) + \phi_Y \log(Y) + \phi_G \log(G) + \phi_t t \\
& + \frac{1}{2} \left[ \phi_{KK} (\log(\tilde{w}_K))^2 + \phi_{LL} (\log(\tilde{w}_L))^2 + \phi_{YY} (\log(Y))^2 + \phi_{GG} (\log(G))^2 + \phi_{tt} t^2 \right] \\
& + \phi_{KL} \log(\tilde{w}_K) \log(\tilde{w}_L) + \phi_{KY} \log(\tilde{w}_K) \log(Y) + \phi_{KG} \log(\tilde{w}_K) \log(G) + \phi_{Kt} \log(\tilde{w}_K) t \\
& + \phi_{LY} \log(\tilde{w}_L) \log(Y) + \phi_{LG} \log(\tilde{w}_L) \log(G) + \phi_{Lt} \log(\tilde{w}_L) t + \phi_{YG} \log(Y) \log(G) + \phi_{Yt} \log(Y) t \\
& + \phi_{Gt} \log(G) t
\end{aligned}$$

(I.1)

où  $\tilde{C}$ ,  $\tilde{w}_K$  et  $\tilde{w}_L$  représentent respectivement les niveaux, normalisés par le prix des consommations intermédiaires, du coût et des prix du capital et du travail. Le coût de production est donné par  $C = w_K K + w_L L + w_M M$ , où  $K$ ,  $L$ ,  $M$  dénotent les niveaux de capital, de travail et d'intrants intermédiaires et  $w_K$ ,  $w_L$ , et  $w_M$  leur prix respectifs<sup>5</sup>. Comme mentionné plus haut, le niveau des infrastructures publiques est représenté par  $G$  et les progrès techniques par  $t$ .

Il n'est pas difficile de s'apercevoir que les demandes conditionnelles de facteurs ne sont pas linéaires par rapport aux paramètres mais les parts de facteurs ( $w_i Z_i / C$ ) le sont. D'ailleurs la dérivation des équations de part sera déterminante pour l'estimation des paramètres de la fonction de coût (voir section II.2, à propos de l'estimation de la fonction de coût)

### I – 2 – 3. DETERMINATION DES ELASTICITES D'ECHELLE DE COUT ET DE PRODUCTION

Pour mesurer l'effet des infrastructures publiques sur la structure de la croissance de la productivité totale des facteurs ainsi que sur l'évolution des coûts de production de la branche, il est nécessaire de calculer les trois élasticités que sont :

$\mu_{\tilde{C}G} = \frac{\partial \log(\tilde{C})}{\partial \log(G)}$ , l'élasticité du coût par rapport au capital d'infrastructure qui représente la réduction de coût associé à un accroissement de l'intrant public.

$\mu = \frac{\partial \log(\tilde{C})}{\partial \log(Y)}$ , l'élasticité du coût privé par rapport à la production et

---

<sup>5</sup> Des indications plus précises à propos de ces grandeurs sont données au paragraphe (II – 1 – 1)

$$\mu^* = \frac{\partial \log(\tilde{C}^*)}{\partial \log(Y)} = \frac{\mu}{1 - \mu_{\tilde{C}G}}, \text{ l'élasticité du coût total par rapport à la production}^6.$$

Il ressort de la détermination de ces élasticités une interprétation intéressante des rendements d'échelle. En effet, l'inverse de  $\mu$  mesure le rendement d'échelle privé c'est à dire l'augmentation proportionnelle de la production suite à l'augmentation d'un pour cent de tous les intrants privés (capital, travail, consommation intermédiaire) pour un capital public maintenu constant. De l'autre côté, l'inverse de  $\mu^*$  est le rendement d'échelle total qui mesure l'augmentation proportionnelle de la production par suite d'une augmentation d'un pour cent de tous les facteurs de production y compris les infrastructures publiques<sup>7</sup>.

Par ailleurs, l'augmentation relative de la production de la branche résultant d'une augmentation relative du stock de capital public est déterminée comme suit :

$$\mu_{YG} = - \frac{\partial \log(\tilde{C})}{\partial \log(G)} \bigg/ \frac{\partial \log(\tilde{C})}{\partial \log(Y)} = - \frac{\mu_{\tilde{C}G}}{\mu}$$

#### I - 2 - 4. FONCTION DE DEMANDE

Afin d'obtenir l'équilibre pour chaque bien produit, il est nécessaire de définir une fonction de demande pour chaque branche d'activité. Nous supposons à cet effet que les changements de la demande sont déterminés de façon endogène par l'équation de mouvement suivant :

$$\dot{Y}_i / Y_i = \rho + \alpha_i (\dot{P}_{y_i} / P_{y_i} - \dot{P} / P) + \beta_i \dot{R} / R + \varepsilon \quad (\mathbf{I.2})$$

Cette équation stipule que pour chaque branche, la demande de sa production ( $Y$ ) est déterminée par son prix ( $P_y$ ) normalisé par le déflateur du PIB ( $P$ ) et le revenu domestique ( $R$ )

<sup>6</sup> Se référer à l'annexe 1.

<sup>7</sup> En effet, pour une fonction de production donnée  $f(Z)$  nous pouvons considérer l'évaluation locale des rendements d'échelle appelée encore l'**élasticité d'échelle** :

$$e(Z) = \frac{df(Z)}{f(Z)} \bigg/ \frac{dZ}{Z} = \frac{\sum_i \partial f(Z)}{\partial Z_i} Z_i \bigg/ f(Z). \text{ La technologie présente localement des rendement d'échelle}$$

décroissants, constants ou croissants selon que  $e(Z)$  est plus petit, égal ou plus grand que 1.

Les conditions de premier ordre permettent d'écrire :  $w_i = \lambda \frac{\partial f(Z)}{\partial Z_i}$  avec  $\lambda$  le multiplicateur de Lagrange

En outre, par le théorème de l'enveloppe :  $\lambda = \frac{\partial C(w, Y)}{\partial Y}$ ,

$$\text{Par conséquent } e(Z) = \frac{\sum_i w_i Z_i}{\lambda f(Z)} = \frac{C(w, Y) / f(Z)}{\partial C(w, Y) / \partial Y} = \frac{1}{\mu}$$

approximé ici par le PIB réel. Il est attendu que  $\alpha$  soit de signe négatif et  $\beta$  de signe positif afin que les biens produits par les différentes branches soient qualifiés de normaux. Leurs ordre de grandeur et significativité permettront d'apprécier les degrés d'élasticités prix et revenu pour chaque bien produit.

Nous verrons par la suite que l'estimation des différentes composantes de la croissance de la productivité totale des facteurs (PTF) nécessite l'adjonction de deux ensembles de paramètres : d'une part, la détermination des élasticités d'échelle ( $\mu$  et  $\mu^*$ ) et l'élasticité de coût par rapport à l'intrant public ( $\mu_{CG}$ ) émanant de l'estimation de la fonction de coût et d'autre part, l'estimation des coefficients de la fonction de demande ( $\alpha$ ,  $\beta$  et

## I – 2 – 5. INFRASTRUCTURES PUBLIQUES ET PRODUCTIVITE

### I – 2 – 5 – 1. DECOMPOSITION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE DES FACTEURS (PTF)

La confrontation entre le comportement d'offre du producteur décrit selon une approche duale et les caractéristiques de la demande de son produit permet d'aboutir à la décomposition suivante de la croissance de la productivité totale des facteurs (PTF), (voir Annexe 1) :

$$\frac{\dot{\psi}}{\psi} = \alpha U \left( \frac{\dot{P}_Y}{P_Y} + \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{C}}{C} \right) + \alpha U \left( \sum_i \pi_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} - \frac{\dot{P}}{P} \right) + \left( \alpha U - \frac{1}{eH} \right) \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G} + \left( \alpha U H - \frac{1}{e} \right) \frac{\dot{\tau}}{\tau} + U \left( \rho + \beta \frac{\dot{R}}{R} \right)$$

(I.3)

$$\text{Avec } U = \frac{\left( \frac{e - \mu^*}{e} \right)}{[1 - \alpha(\mu - 1)]}$$

Le point sur la variable signifie que cette dernière est différenciée par rapport au temps. Pour chaque branche d'activité ;  $\psi$  désigne la PTF,  $Y$  la production,  $P_Y$  le prix de la production,  $C$  le coût de la production,  $P$  le déflateur du PIB,  $w_i$  le prix du  $i$ ème facteur de production,  $\pi_i = w_i Z_i / C$  la part du  $i$ ème facteur dans le coût,  $e = P_Y Y / C$  le ratio du prix de la production au coût moyen,  $R$  le PIB réel,  $\alpha$  et  $\beta$  les élasticité prix et revenu de la demande,  $\tau$  le niveau des progrès techniques résiduels et  $H = (1 - \mu_{GC})$  avec  $\mu_{GC}$  l'élasticité de coût par rapport à l'intrant public.

### I – 2 – 5 – 2. INTERPRETATION DES COMPOSANTES DE LA PTF

L'interprétation heuristique des diverses composantes de la croissance de la PTF, fournie par Nadiri et Mamuneas (1994b), est la suivante :

$\alpha U \left( \sum_i \pi_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} - \frac{\dot{P}}{P} \right)$  représente l'effet des prix des facteurs de production ;

$U \left( \rho + \beta \frac{\dot{R}}{R} \right)$  représente l'effet de la demande exogène ;

$\left( \alpha U - \frac{1}{eH} \right) \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G}$  représente l'effet des infrastructures publiques ;

$\left( \alpha UH - \frac{1}{e} \right) \frac{\dot{\tau}}{\tau}$  représente l'effet des progrès techniques résiduels.

En sus de ces quatre composantes, la première composante de l'équation **(I.3)**  $\alpha U \left( \frac{\dot{P}_Y}{P_Y} + \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{C}}{C} \right)$

pourrait être interprétée comme étant un effet marge qui dépend de l'évolution de la production nominale relativement à son coût. Lorsque ce dernier croît plus rapidement que la production (baisse de la marge), alors l'entreprise consacre davantage d'efforts pour améliorer sa productivité et vice versa.

### I – 2 – 5 – 3. CONTRIBUTION DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES A LA PTF

Enfin, il est intéressant d'analyser plus en profondeur la contribution du capital d'infrastructures publiques à la PTF. Pour cela, on peut décomposer la contribution du capital public en effet direct et indirect. L'effet direct est donné par l'expression  $\frac{\mu_{CG}}{eH} \frac{\dot{G}}{G}$  signifiant

que l'accroissement des infrastructures publiques agit positivement sur la PTF en réduisant les coûts de production. L'effet indirect est donné par l'expression  $\alpha U \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G}$  dans le sens où la

baisse des coûts de production, engendrée par l'effet direct, fait baisser, les prix des produits et augmenter la production *via* l'élasticité prix de la demande. Ainsi, la croissance de la production entraîne une croissance de la PTF. A remarquer que l'effet indirect de la contribution des infrastructures publiques est tributaire de la significativité de l'élasticité prix de la demande ( $\alpha$ ). Autrement dit, si  $\alpha$  est nul il n'existe plus d'effet indirect.

## II. APPLICATION AUX DONNEES DU SENEGAL

L'objectif de ce travail est d'estimer l'équation de la décomposition de la croissance de la productivité totale des facteurs afin de mesurer la contribution des investissements publics en matière d'infrastructure. A cette fin, il convient d'estimer au préalable la fonction de coût et l'équation de demande de production. Ces estimations sont réalisées sur dix branches d'activités du secteur moderne sénégalais lesquelles sont choisies selon deux principaux critères. D'une part, ce choix est représentatif des trois secteurs de l'économie (primaire, secondaire et tertiaire) et d'autre part, il est opéré sous la contrainte de la disponibilité des données. Le tableau suivant indique la répartition des différentes branches qui ont été retenues ainsi que leur poids moyen en terme de valeur ajoutée sur la période 1980 – 2004.

TABLEAU II.1 : Les branches et leur poids dans l'économie

Code	Nomenclature	Poids de l'échantillon dans le PIB (En moyenne 1980 2004)	Poids total du secteur dans le PIB (En moyenne 1980 2004)
	<b>Secteur primaire</b>	<b>6 %</b>	<b>18 %</b>
010	Agriculture vivrière	6%	
	<b>Secteur secondaire</b>	<b>8 %</b>	<b>19 %</b>
110	Fabrication de sucre, transformation	1 %	
120	Fabrication de Produits Alimentaires	0,4 %	
150	Egrenage de coton, et fab. des textiles	1 %	
240	Fabrication de Machines	0,1 %	
260	Construction de Matériels de Transport	0,04 %	
280	Energie	2 %	
290	Construction	3 %	
	<b>Secteur tertiaire</b>	<b>21 %</b>	<b>51 %</b>
300	Commerce	17 %	
330	Transport	4 %	
	<b>TOTAL</b>	<b>35 %</b>	<b>88 %</b>

Source : Agence Nationale de la Statistique et de la démographie (ANSD)

La section suivante décrit en détail et analyse les données qui ont servi à l'estimation des équations.

## **II – 1. DESCRIPTION ET TRAITEMENT DES DONNEES**

Les données proviennent de la base de données de l'Agence National de la Statistique et de la Démographie (ANSD). Elles sont annuelles et s'inscrivent sur la période allant de 1980 à 2004. Le tableau II.2, décrit les niveaux moyens des variables utilisées pour les dix branches d'activité.

Comme on peut le remarquer dans la structure de coût de production, la taille de la branche varie considérablement. Elle est importante pour les branches de l'énergie, de la construction, du commerce et du transport et très modeste en ce qui concerne les branches comme l'agriculture vivrière, la fabrication de machines et la construction de matériels de transport.

Il y a lieu également de noter qu'en moyenne les 2/3 du coût de production des entreprises sont constitués de consommations intermédiaires, ce qui témoigne de la place de choix qu'occupent ces dernières dans le processus de production.

Enfin, à l'instar de Nadiri et Mamuneas (1994b), deux types de facteurs de production sont considérés : les facteurs de production privés supposés variables et le stock de capital public représenté par les infrastructures physiques, supposé quasi fixe. Selon Harchaoui (1997), il relève d'une hérésie que de considérer le capital privé comme un facteur variable dans la mesure où la plupart des travaux lui associent des éléments de fixité. Toutefois, il faut garder présent à l'esprit que, de nos jours, la firme est souvent en mesure de recourir aux services de location de biens d'équipement et ainsi accéder à plus de flexibilité que ne lui permet leur achat. En revanche, la firme ne jouit d'aucune flexibilité dans l'usage du capital public, la décision de l'augmenter et/ou de l'entretenir lui est complètement exogène.

TABLEAU II.2 : Description des données (1980 -2004)

	$C$	$S_K$	$S_L$	$S_M$	$\dot{K}/K$	$\dot{L}/L$	$\dot{M}/M$	$\dot{Y}/Y$	$\dot{P}_Y/P_Y$	$\dot{w}_K/w_K$	$\dot{w}_L/w_L$	$\dot{w}_M/w_M$
1. Agriculture vivrière	2,05	0,30	0,15	0,55	0,07	0,04	0,41	0,03	0,04	0,07	0,20	0,03
2. Fabrication de sucre, transformation	31,67	0,17	0,22	0,61	0,03	-0,00	0,10	0,01	0,03	0,06	0,07	0,03
3. Fabrication de Produits Alimentaires	34,54	0,12	0,02	0,86	0,10	0,07	0,83	0,08	0,04	0,39	0,05	0,33
4. Egrenage de coton, et fab. des textiles	21,97	0,12	0,11	0,77	0,06	0,02	0,37	0,03	0,05	0,06	0,09	0,02
5. Fabrication de Machines	7,22	0,10	0,08	0,83	0,11	-0,06	0,71	0,07	0,05	0,10	0,21	0,05
6. Construction de Matériels de Transport	2,47	0,07	0,15	0,78	0,21	0,18	0,16	0,17	0,05	0,40	0,08	0,37
7. Energie	84,75	0,37	0,09	0,54	0,07	0,03	0,43	0,04	0,04	0,04	0,05	-0,00
8. Construction	162,4	0,13	0,08	0,79	0,09	0,09	0,72	0,07	0,05	0,10	0,07	0,05
9. Commerce	191,9	0,53	0,09	0,38	0,08	0,01	0,38	0,03	0,05	0,05	0,10	0,00
10. Transport	113,7	0,30	0,15	0,55	0,04	-0,03	0,38	0,03	0,05	0,06	0,13	0,02
<b>Secteur moderne</b>	<b>65,267</b>	<b>0,221</b>	<b>0,114</b>	<b>0,666</b>	<b>0,086</b>	<b>0,035</b>	<b>0,060</b>	<b>0,056</b>	<b>0,044</b>	<b>0,133</b>	<b>0,105</b>	<b>0,0930</b>

**Note :**

1 – Le calcul de ces statistiques est rendu possible grâce à l’exploitation des données des comptes nationaux fournis par l’Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD).  
 2 –  $C$  = coût total annuel moyen exprimé en milliard de francs CFA,  $S_K$  = part annuelle moyenne de la rémunération du capital,  $S_L$  = part annuelle moyenne de la rémunération du travail,  $S_M$  = part annuelle moyenne de la consommation intermédiaire,  $\dot{K}/K$  = taux de croissance annuel moyen du stock de capital,  $\dot{L}/L$  = taux de croissance annuel moyen de la quantité de main d’œuvre,  $\dot{M}/M$  = taux de croissance annuel moyen des intrants intermédiaires,  $\dot{Y}/Y$  = taux de croissance annuel moyen de la production,  $\dot{P}_Y/P_Y$  = taux de croissance annuel moyen du prix de la production, et  $\dot{w}_i/w_i$  = taux de croissance annuel moyen du prix de l’intrant  $i$  (avec  $i = K, L, M$ ).



## II – 1 – 1. LES FACTEURS DE PRODUCTION PRIVES

Il s'agit des biens et services intermédiaires, du travail et du stock de capital privé.

Les données sur la consommation intermédiaire par branche et son déflateur sont tirées des comptes de production.

En ce qui concerne le facteur travail, il est mesuré par le nombre d'heures de travail de par l'ensemble des travailleurs sans distinction de leurs catégories. Cette mesure de la main d'œuvre est le produit du nombre de travailleurs par branche et du nombre d'heures qu'un travailleur est obligé de satisfaire en moyenne au cours d'une année, déduction faite des jours fériés et congés. Il aurait été plus intéressant, n'eût été les contraintes liées à la disponibilité de l'information, de calculer la quantité de main d'œuvre comme la somme pondérée du nombre d'heures travaillées par les diverses catégories socioprofessionnelles. Le prix unitaire de travail est le rapport entre le salaire total et le nombre d'heures de travail. De 1980 à 2004, la quantité de main d'œuvre a augmenté en moyenne de 3,5 % par an et le taux de salaire de 10,5 %.

S'agissant de l'intrant stock de capital par branche, sa détermination a nécessité une procédure plus complexe. En effet, la mesure du stock de capital par branche suppose d'abord la connaissance des investissements de la branche ou encore sa formation brute de capital fixe (FBCF). Or, les tableaux d'équilibre ressource – emploi de la comptabilité nationale répartissent la FBCF totale uniquement sous forme de production par branche et non pas sous forme d'emploi. Ainsi, le recours à des techniques statistiques s'est révélé utile pour avoir une estimation des investissements par branche. Pour ce faire, la première étape consiste à trouver des clés de répartition annuelles qui donnent une appréciation de la structure de la FBCF totale. Les données relatives à la consommation de capital fixe tirées des comptes de production par agent, ont rendu possible le calcul de ces clés de répartition. Ensuite, à partir de ces dernières, il est possible de ventiler la FBCF totale au niveau de chaque branche d'activité.

Outre le niveau d'investissement de la branche, l'estimation de l'intrant capital suppose enfin la connaissance du stock de capital initial et du taux de dépréciation du capital. Ne disposant pas d'information à ce niveau, nous avons fait appel au filtre de Kalman qui permet de modéliser le comportement évolutif du stock de capital grâce à une représentation de l'équation de mouvement du capital (l'équation d'état) et une relation exprimant la consommation de capital fixe courante en fonction du stock de capital de l'année antérieure

(équation d'observation). Formellement, il s'agit de la représentation état–mesure (*stat–space*) suivante :

$$K_t = I_t + (1 - \Delta)K_{t-1} + u_t \quad \text{Equation d'état}$$

$$Ccf_t = aK_{t-1} + v_t \quad \text{Equation d'observation}$$

où  $K$  représente le stock de capital de la branche,  $I$  l'investissement de la branche mesuré par sa FBCF,  $Ccf$  la consommation de capital fixe de la branche et  $\Delta$  le taux de dépréciation du capital.

$$\text{avec } E(u_t u_{t-s}) = \begin{cases} \sigma_u & \text{si } s = 0 \\ 0 & \text{si } s \neq 0 \end{cases} ; E(v_t v_{t-s}) = \begin{cases} \sigma_v & \text{si } s = 0 \\ 0 & \text{si } s \neq 0 \end{cases}$$

$$\text{et } E(u_{t-h} v_{t-s}) = 0 \quad \forall s, h$$

La résolution de ce système permet de filtrer le stock de capital de la branche.

Enfin, la théorie économique laisse entendre que la valorisation du capital à son prix d'acquisition<sup>8</sup> n'est pas indiqué pour une fonction de production et, partant, pour mesurer la productivité totale des facteurs. Nous avons besoin, à cette fin, d'une mesure des services de capital qui n'est rien d'autre que le stock du capital valorisé à son prix de location. Néanmoins, le prix de location d'un actif (ou coût d'usage) n'est souvent pas observable, mais il existe une formule liant le prix de location d'un actif à son prix observé soit :

$$\text{Prix de location} = [\text{taux de rendement} + \text{taux de dépréciation} - \text{taux de croissance du prix d'un nouvel actif}] \times \text{prix d'un nouvel actif}$$

Dans le cadre de ce travail, le taux de rendement du capital est calculé par le rapport entre l'excédent net d'exploitation (ENE) et le stock de capital. Le taux de dépréciation est estimé dans l'équation d'état de la représentation *state – space* ci-dessus. Et, le prix d'un nouvel actif est approximé par le déflateur de la FBCF.

Pour la période de 1980 à 2004, le stock de capital augmente en moyenne de 8,6 % tandis que le rythme de progression moyen de son coût d'usage est de 13,3 %.

---

<sup>8</sup> On l'appelle également la mesure du capital dans l'optique de la richesse

## II – 1 – 2. LE STOCK DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES

Dans la détermination du stock des infrastructures publiques, se pose d'abord de manière cruciale des difficultés dans la définition précise des notions de capital public et de capital d'infrastructure. En effet, Hurlin (1999) fait remarquer que la plupart des études économétriques retiennent une définition fondée sur la propriété, le capital d'infrastructure étant la plupart du temps défini comme le capital détenu par l'Etat, d'où la confusion des notions de capital d'infrastructure et de capital public. Or, il est bien possible qu'une partie des investissements d'infrastructure soit assurée par le secteur privé et échappe par là même à la définition retenue, mais il apparaît très délicat de mesurer les infrastructures privées et de les distinguer des autres catégories de capital privé.

Par ailleurs, le critère de la propriété étatique conduit à agréger en une même entité hétéroclite, non seulement les infrastructures publiques et les stocks productifs des entreprises publiques, mais également les équipements n'ayant que peu ou pas d'impact sur l'activité économique (bâtiments administratifs, les dépenses militaires etc.). Il est alors possible d'objecter que le fait d'étendre la définition du capital public au-delà du simple domaine des infrastructures productives, conduit *ceteris paribus* à minimiser les effets productifs des investissements publics.

C'est pourquoi dans cette étude nous ne considérerons que la définition du capital public au sens étroit, c'est à dire composé uniquement des infrastructures réalisées par le secteur public qui ont trait aux travaux de génie civil et à la construction de bâtiment y compris les écoles et hôpitaux.

## II – 2. ESTIMATION DE LA FONCTION DE COÛT

La fonction de coût translog est estimée sur la base de combinaison de coupes transversales et de séries chronologiques. En effet, comme les branches retenues affichent des structures fondamentalement différentes, l'utilisation de données de panel permet notamment d'introduire des effets spécifiques fixes ou aléatoires propres à chaque individu par là même de ne pas imputer de manière fallacieuse les différences de productivité inobservables aux variations du capital public. Garcia-Milà, McGuire et Porter (1996), tout comme Evans et Karras (1994) et Holtz-Eakin (1994), soulignent le fait que ces effets spécifiques sont déterminants dans l'estimation de l'élasticité de la production par rapport au capital public. Par conséquent, les paramètres de la fonction de coût sont estimés en premier lieu par l'utilisation du modèle à effets fixes (voir le tableau II.2). Cependant, deux critiques majeures sont

intervenues à propos de l'estimation de l'effet du capital public sur la structure de la production :

Premièrement les séries chronologiques sur la production, le coût de production et les facteurs de productions y compris les infrastructures publiques peuvent présenter des tendances communes si bien qu'une relation positive significative entre la productivité et les intrants publics pourrait être fallacieuse. Pour contourner cette difficulté les chercheurs ont souvent recours à une forme de différence entre ces variables. Par exemple, Garcia-Milà, McGuire et Porter (1996), ont estimé la fonction de production élargie au capital public en transformant les variables en différence première<sup>9</sup> et ont conclu que les élasticités de la production par rapport aux intrants publics sont négatives ou non significatives. Les principales conclusions de ces études indiquent clairement que les estimations du rendement du capital public sont extrêmement sensibles à la spécification du modèle économétrique.

La seconde critique réside dans la détermination du vrai sens de causalité entre les dépenses publiques en infrastructure et la production. En réalité il n'est pas aisé de montrer si une diminution de ces dépenses est due à une diminution du niveau de production ou inversement. Ainsi, se pose le problème de statut des infrastructures publiques par rapport à la productivité. Pour apporter une réponse économétrique à ces deux soucis, la solution adoptée est de réestimer la fonction de coût par la méthode des Moindres Carrés Modifiés (FMOLS) selon la démarche de Pedroni (2000)<sup>10</sup>. Plusieurs raisons justifient ce choix : tout d'abord les techniques statistiques utilisées plus haut pour obtenir certaines variables ne sont pas réfractaires à des erreurs de mesure d'où les limites à procéder à une différenciation des variables. De plus, les résultats des tests de racine unitaire et de cointégration présentés en annexe 2, permettent de conclure que toutes les variables sont intégrées d'ordre 1 et l'hypothèse d'existence de relation de long terme entre elles ne peut être rejetée<sup>11</sup>. Dès lors, il est pertinent d'utiliser la méthode FMOLS qui paraît bien adaptée à l'estimation d'une relation de cointégration. En outre, cette méthode permet de juguler les problèmes d'endogénéité des variables explicatives (éventuellement le capital public) et d'autocorrélation des erreurs. Enfin, la méthode présente l'avantage de capturer les effets

---

<sup>9</sup> Cependant, McGuire (1992) montre que la transformation des variables en différence première se révèle inappropriée lorsque ces dernières sont sujettes à des erreurs de mesure.

<sup>10</sup> Voir également Kao, Chiang et Chen (1999) et Kao et Chiang (2000).

<sup>11</sup> Les tests de racine unitaire qui ont été appliqués sont ceux de Levin, Lin et Chu (2001), Im, Pesaran et Shin (2003) et Maddala et Wu (1999).

Les tests de cointégration qui ont été appliqués sont ceux de Pedroni (1999).

fixes hétérogènes mais aussi les dynamiques de court terme spécifiques à chaque individu du panel.

TABLEAU II.3 : Estimation des paramètres de la fonction de coût translog

ESTIMATION panel FM-OLS* à effets fixes			ESTIMATION Panel OLS à effets fixes		
Equation de part du capital			Equation de part du capital		
Variable dépendante : $S_K$	Coefficient	t-statistique	Variable dépendante : $S_K$	Coefficient	t-statistique
$\alpha_{KK}$	0,13	(44,93)	$\alpha_{KK}$	0,08	(15,57)
$\alpha_{KL}$	-0,02	(-3,06)	$\alpha_{KL}$	-0,0112	(-1,92)
$\alpha_{KY}$	-0,14	(-11,92)	$\alpha_{KY}$	-0,06	(-6,01)
$\alpha_{KG}$	0,05	(10,67)	$\alpha_{KG}$	0,005	(0,66)
$\alpha_{Kt}$	0,05	(22,38)	$\alpha_{Kt}$	0,06	(15,36)
Equation de part du travail			Equation de part du travail		
Variable dépendante : $S_L$	coefficient	t-statistique	Variable dépendante : $S_L$	coefficient	t-statistique
$\alpha_{KL}$	-0,02	(-20,29)	$\alpha_{KL}$	-0,0118	(-6,55)
$\alpha_{LL}$	0,03	(15,56)	$\alpha_{LL}$	0,01	(5,97)
$\alpha_{LY}$	0,02	(4,06)	$\alpha_{LY}$	0,01	(4,10)
$\alpha_{LG}$	0,01	(9,22)	$\alpha_{LG}$	0,0009	(0,36)
$\alpha_{Lt}$	-0,01	(-11,68)	$\alpha_{Lt}$	-0,01	(-8,94)

**Note :** La fonction de coût translog ayant un nombre élevé de variables explicatives, l'estimation de ses coefficients est réalisée en deux étapes. La première étape consiste à dériver les équations de part du capital et du travail de la fonction de coût translog afin de pouvoir estimer les coefficients  $\alpha_{KK}, \alpha_{KL}, \alpha_{KY}, \alpha_{KG}, \alpha_{Kt}, \alpha_{LL}, \alpha_{LY}, \alpha_{LG}$  et  $\alpha_{Lt}$ . La seconde étape consiste à retrancher de la variable endogène de la fonction de coût translog ( $\log(\tilde{C})$ ), le produit de chacun des coefficients susmentionnés et la variable explicative correspondante. Le résultat obtenu est une variable de coût dite transformée laquelle sert de variable endogène pour l'estimation des 11 coefficients restants.

TABLEAU II.3 (suite) : Estimation des paramètres de la fonction de coût translog

**ESTIMATION panel FM-OLS à effets fixes**

**ESTIMATION Panel OLS à effets fixes**

Equation de coût transformée			Equation de coût transformée		
Variable dépendante : <i>Ctr</i>	coefficient	t-statistique	Variable dépendante : <i>Ctr</i>	coefficient	t-statistique
$\alpha_K$	-0,07	(-18,60)	$\alpha_K$	-0,27	(-5,43)
$\alpha_L$	0,20	(8,57)	$\alpha_L$	0,13	(2,44)
$\alpha_Y$	-1,32	(2,75)	$\alpha_Y$	0,23	(0,80)
$\alpha_G$	0,34	(2,50)	$\alpha_G$	0,14	(0,06)
$\alpha_t$	-0,27	(-9,27)	$\alpha_t$	0,10	(0,67)
$\alpha_{YY}$	1,76	(1,29)	$\alpha_{YY}$	-0,24	(-5,00)
$\alpha_{GG}$	-2,06	(-4,14)	$\alpha_{GG}$	-0,22	(-0,60)
$\alpha_{tt}$	1,12	(15,25)	$\alpha_{tt}$	-0,34	(-1,01)
$\alpha_{YG}$	-1,37	(-4,11)	$\alpha_{YG}$	0,02	(0,35)
$\alpha_{Yt}$	0,69	(4,11)	$\alpha_{Yt}$	0,01	(3,33)
$\alpha_{Gt}$	0,44	(8,04)	$\alpha_{Gt}$	0,05	(3,46)

\*FM-OLS = Fully Modified – Ordinary Least Square

La fonction de coût translog ayant un nombre élevé de variables explicatives, l'estimation de ses coefficients est réalisée en deux étapes. Premièrement, le lemme de Shephard permet de dériver les équations de part du capital et du travail de la fonction de coût translog afin de pouvoir estimer les coefficients  $\alpha_{KK}, \alpha_{KL}, \alpha_{KY}, \alpha_{KG}, \alpha_{Kt}, \alpha_{LL}, \alpha_{LY}, \alpha_{LG}$  et  $\alpha_{Lt}$ . La seconde étape consiste à retrancher de la variable endogène de la fonction de coût translog ( $\log(\tilde{C})$ ), le produit de chacun des coefficients susmentionnés et la variable explicative correspondante. Le résultat obtenu est une variable de coût dite transformée laquelle sert de variable endogène pour l'estimation des 11 coefficients restants. Au total, les trois équations suivantes sont à estimer :

$$s_K = c_0 + \alpha_{KK} \log(\tilde{w}_K) + \alpha_{KY} \log(Y) + \alpha_{KL} \log(\tilde{w}_L) + \alpha_{KG} \log(G) + \alpha_{Kt} t + \varepsilon$$

$$s_L = c_1 + \alpha_{KL} \log(\tilde{w}_K) + \alpha_{LY} \log(Y) + \alpha_{LL} \log(\tilde{w}_L) + \alpha_{LG} \log(G) + \alpha_{Lt} t + \mu$$

$$Ctr = \alpha_0 + \alpha_K \log(\tilde{w}_K) + \alpha_L \log(w_L) + \alpha_Y \log(Y) + \alpha_G \log(G) + \alpha_t t + 1/2 \alpha_{YY} [\log(Y)]^2 \\ + 1/2 \alpha_{GG} [\log(G)]^2 + 1/2 \alpha_{tt} t^2 + \alpha_{YG} \log(Y) \log(G) + \alpha_{Yt} \log(Y) t + \alpha_{Gt} \log(G) t + \eta$$

Les variables endogènes des trois équations ci-dessus sont mesurées comme suit :

$$s_K = \partial \log(\tilde{C}) / \partial \log(\tilde{w}_K) = w_K K / C \quad ; \quad s_L = \partial \log(\tilde{C}) / \partial \log(\tilde{w}_L) = w_L L / C \quad \text{et}$$

$$Ctr = \log(\tilde{C}) - 1/2 \hat{\alpha}_{KK} [\log(\tilde{w}_K)]^2 - 1/2 \hat{\alpha}_{LL} [\log(\tilde{w}_L)]^2 - \hat{\alpha}_{KL} \log(\tilde{w}_K) \log(\tilde{w}_L) \\ - \hat{\alpha}_{KY} \log(\tilde{w}_K) \log(Y) - \hat{\alpha}_{KG} \log(\tilde{w}_K) \log(G) - \hat{\alpha}_{Kt} \log(\tilde{w}_K) t - \hat{\alpha}_{LY} \log(\tilde{w}_L) \log(Y) \\ - \hat{\alpha}_{LG} \log(\tilde{w}_L) \log(G) - \hat{\alpha}_{Lt} \log(\tilde{w}_L) t$$

### II – 3. ESTIMATION DE LA FONCTION DE DEMANDE

La demande adressée à chaque branche est fonction de la variation de son prix par rapport au déflateur du PIB et du revenu agrégé soit :

$$\dot{Y}/Y = \rho_i + \alpha_i (\dot{P}_Y/P_Y - \dot{P}/P) + \beta_i \dot{R}/R + \varepsilon \quad ; \quad \text{où l'indice } i \text{ représente la branche.}$$

Sous l'hypothèse que les biens demandés sont normaux, on devrait s'attendre logiquement à un signe négatif pour  $\alpha$  et un signe positif pour  $\beta$ . Pour arriver à ce résultat, plusieurs méthodes ont été appliquées. C'est le cas notamment des Moindres Carrés Ordinaires, du Maximum de Vraisemblance avec des contraintes sur les coefficients et d'autres méthodes non linéaires. Les résultats étant peu probants quant au signe et l'ordre de grandeur des  $\alpha_i$ , il convient alors de faire recours à la méthode SUR (Seemingly Unrelated Regression) qui présente des propriétés intéressantes et permet d'aboutir à de meilleurs résultats. Cette méthode a en effet pour avantage de résoudre les problèmes d'hétéroscédasticité et de corrélation entre les erreurs. *Les résultats obtenus et présentés au tableau suivant montrent que l'élasticité revenu est plus importante que l'élasticité prix qui n'est, du reste, pas significative aux seuils conventionnels. Ce qui laisse présager un faible impact indirect du capital public sur la productivité des facteurs.*

TABLEAU x.4 : **Estimation des paramètres de la fonction de demande**  
 Spécification de l'équation :  $\dot{Y}/Y = \rho + \alpha_i (\dot{P}_Y/P_Y - \dot{P}/P) + \beta_i \dot{R}/R + \varepsilon$

Branches	$\alpha$	t-stat	$\beta$	t-stat
1. Agriculture vivrière	-0,38	(-1,34)	1,40	(2,32)
2. Fabrication de sucre, transformation	-0,10	(-1,05)	0,31	(1,35)
3. Fabrication de Produits Alimentaires	-0,94	(-1,60)	0,88	(2,10)
4. Egrenage de coton, et fab des textiles	-0,12	(-1,47)	0,44	(1,82)
5. Fabrication de Machines	-0,78	(-0,56)	1,49	(2,56)
6. Construction de Matériels de Transport	-1,28	(-0,88)	1,48	(0,53)
7. Energie	-0,31	(-1,06)	0,70	(2,55)
8. Construction	-0,32	(-1,17)	0,58	(1,20)
9. Commerce	-0,35	(-1,81)	0,81	(4,07)
10. Transport	-0,72	(-2,80)	0,58	(1,67)

**Note :** La fonction de demande est estimée par la méthode SUR (Seemingly Unrelated Regression) afin de prendre en compte le caractère hétérogène du panel, mais également les corrélations contemporaines qui puissent exister entre les individus. Plusieurs méthodes d'estimation ont été préalablement appliquées mais donnant des résultats peu satisfaisants en ce qui concerne le signe et l'ordre de grandeur du coefficient  $\alpha$  (c'est le cas notamment de l'estimation des données individuelles : par les Moindres Carrés Ordinaires, par le Maximum de Vraisemblance avec des contraintes sur les coefficients et par d'autres méthodes non linéaires). Avec la méthode SUR il apparaît que, nonobstant leur significativité douteuse, les coefficients sont de signe correct.

## II – 4. CONTRIBUTION DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES AU NIVEAU

### DE LA BRANCHE

#### II – 4 – 1. LES ELASTICITES D'ECHELLE

Le tableau ci après présente la valeur moyenne des élasticités et les degrés de rendement d'échelle pour l'ensemble des branches sélectionnées. Dans sa première colonne figurent les élasticités moyennes du coût par rapport au stock d'infrastructure publiques. Le signe négatif



de ces élasticités montre que pour toutes les branches d'activité l'augmentation des infrastructures publiques permet une réduction des coûts des entreprises. La réduction du coût est plus importante pour les branches du commerce, de la construction, du transport et de l'énergie. Ces branches sont vraisemblablement celles qui utilisent le plus les infrastructures publiques. *Pour l'ensemble des branches d'activité, la baisse moyenne du coût consécutive à une augmentation 1% des infrastructures publiques est de 0.1%.*

**TABLEAU II.5 : Les élasticités moyennes de la fonction de coût (1980 – 2004)**

	$\mu_{\bar{c}_G}$	$\frac{1}{\mu}$	$\frac{1}{\mu^*}$	$\mu_{YG}$	$\mu_{YK}$
1. Agriculture vivrière	-0.0561	3.3239	3.5132	0.1892	1,2592
2. Fabrication de sucre, transformation	-0.0965	1.1736	1.2905	0.1169	0,2166
3. Fabrication de Produits Alimentaires	-0.0971	1.2219	1.3438	0.1219	0,1491
4. Egrenage de coton, et fab des textiles	-0.0930	1.2742	1.3969	0.1227	0,2034
5. Fabrication de Machines	-0.0767	2.0467	2.2127	0.1659	0,2067
6. Construction de Matériels de Transport	-0.0615	4.2115	4.5090	0.2975	0,3357
7. Energie	-0.1111	0.9711	1.0814	0.1101	0,3815
8. Construction	-0.1191	0.8860	0.9931	0.1070	0,1497
9. Commerce	-0.1225	0.8434	0.9485	0.1050	0,4909
10. Transport	-0.1142	0.9143	1.0208	0.1064	0,1547
<b>Secteur Moderne</b>	<b>-0.1000</b>	<b>1.7591</b>	<b>1,9243</b>	<b>0,1460</b>	<b>0,3548</b>

**Note :** Ce tableau regroupe les valeurs moyennes des élasticités et les degrés de rendement d'échelle pour toutes les branches sélectionnées. L'échantillon a été réduit à la période 1990 2004 en raison de certains résultats aberrants trouvés sur la période antérieure, Dans la première colonne figurent les élasticités moyennes du coût par rapport au stock d'infrastructure publiques. Les deuxième et troisième colonnes donnent respectivement les rendements d'échelle internes et globaux. Enfin, les élasticités moyennes de la production par rapport à l'intrant public sont présentées dans la dernière colonne.

Comme il a été évoqué dans le cadre théorique de cette étude, l'inverse de  $\mu$  donne une appréciation sur le degré de rendement d'échelle interne. Autrement dit, cette grandeur mesure l'augmentation proportionnelle de la production suite à l'augmentation d'un pour cent

des tous les intrants privés (capital, travail, consommation intermédiaire) pour un capital public maintenu constant. L'examen des résultats montre que les rendements d'échelle internes moyens sont croissants pour le secteur moderne  $\frac{1}{\mu} > 1$ . Ces rendements sont très importants pour les branches de l'agriculture vivrière, de la fabrication de machines et de la construction de matériels de transport. Par ailleurs, l'inverse de  $\mu^*$  est le rendement d'échelle total qui mesure l'augmentation proportionnelle de la production par suite d'une augmentation d'un pour cent de tous les facteurs de production y compris les infrastructures publiques. Il n'est pas étonnant de constater alors que les rendements d'échelle totaux sont supérieurs aux rendements internes puisque les premiers tiennent compte de la contribution des infrastructures publiques. La différence entre ces deux rendements correspond à l'élasticité de la production par rapport au capital public présentée à la quatrième colonne du tableau. *On peut alors escompter une croissance moyenne de 1,5 % de la production lorsque les infrastructures augmentent de 10%.*

*Enfin, il est important de noter que l'élasticité de la production par rapport au capital privé<sup>12</sup> (0,354) s'établit largement au dessus de celle de la production par rapport au capital public (0,146), contrairement aux résultats de Ashauer (1989) et Fernald (1999) qui confèrent plus d'importance aux investissements publics dans le système productif des Etats Unis. Ainsi, les résultats semblent indiquer que le capital privé joue un rôle prépondérant dans l'économie sénégalaise. Cependant, depuis quelques années il est constaté une croissance moins rapide de l'investissement privé par rapport à l'investissement public, ce qui est contraire à la logique d'une croissance soutenue par l'action privée. Pourtant, le modèle SIMPRES Révisé a permis de mettre en évidence un effet d'entraînement de l'investissement public sur l'investissement privé au Sénégal avec un décalage moyen de deux ans. Ce décalage pourrait être expliqué essentiellement par deux facteurs :*

- Le délai d'accomplissement des travaux publics
- L'aversion au risque des investisseurs privés<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Cette élasticité est obtenue comme suit :  $\mu_{KY} = \frac{\partial \log(C)/\partial \log(K)}{\partial \log(C)/\partial \log(Y)} = \frac{\mu_{CK}}{\mu} = \frac{w_K K}{\mu C}$

<sup>13</sup> Au-delà du délai de réalisation des infrastructures, les investisseurs s'adjugent d'un temps supplémentaire pour s'imprégner au mieux des conditions de rentabilité créées par le nouvel environnement des affaires avant d'entreprendre un quelconque investissement. L'aversion au risque pourrait également émaner du manque de crédibilité de l'annonce d'investissement par les autorités publiques.

Dès lors, il est légitime de s'interroger sur les raisons sous jacentes de cette réponse timide de l'investissement privé, ces dernières années, suite aux importants travaux publics engagés par l'Etat<sup>14</sup>.

Une première explication pourrait provenir des nombreux retards intervenus dans la programmation et l'exécution des grands chantiers de l'Etat. En effet, des retards ont été enregistrés dans l'exécution de nombreux projets d'infrastructure. Bien évidemment, l'allongement des délais de réalisation des infrastructures n'est pas sans occasionner aussi bien des pertes pour l'Etat que des externalités négatives pour le secteur privé. *Ainsi, le non respect des chronogrammes des travaux publics rendrait nécessairement moins crédible la perception qu'ont les investisseurs privés sur les investissements publics.*

*Par conséquent, l'environnement économique sénégalais devrait être plus propice à l'investissement privé sous réserve du respect voire du raccourcissement des délais de réalisation des infrastructures publiques<sup>15</sup>.*

Une seconde explication pourrait être d'ordre institutionnel. *En effet, des efforts restent à faire notamment la réduction des temps d'attente pour les démarches administratives relatives à la création d'entreprise et la simplification du régime fiscal. L'accès au crédit à long terme constitue également un handicap pour les investisseurs. Par ailleurs, l'aménagement de sites industriel de bonne qualité devrait favoriser l'investissement privé.*

Toutefois, la mise en place du Conseil Présidentiel de l'Investissement (CPI) et de l'Agence pour la Promotion de l'Investissement et des Grands Travaux (APIX) ont permis d'introduire des réformes dans les domaines juridique, fiscal, administratif et des infrastructures, ainsi que d'autres mesures incitatives telles que l'adoption d'un nouveau code des investissements.

---

<sup>14</sup> Néanmoins, il y a lieu de relativiser cette faible croissance de l'investissement privé qui est essentiellement due à la quasi-stagnation de l'investissement dans le secteur informel. Le rapport de la Banque Mondiale sur le marché du travail au Sénégal (2007) souligne à cet effet que l'investissement du secteur moderne rapporté à sa valeur ajoutée a progressé de 24% à 41% entre la période 1980 – 1994 et la période 1995 – 2004. Cependant, ce niveau de progression de l'investissement privé ne traduit – il pas simplement la volonté des sénégalais d'accéder à la propriété privée notamment dans le domaine de l'immobilier ?

<sup>15</sup> Les difficultés relatives au respect des délais de réalisation des infrastructures ne sont pas méconnues par le Gouvernement sénégalais. Le 26 Juin 2007, lors la première réunion de la revue annuelle du Programme eau potable et assainissement du millénaire (Pepam) 2005-2006, le Ministre de l'économie et des finances a fait état des contre-performances qui ont affecté la qualité des résultats du Pepam et qui risquent de différer, dans certains cas, l'atteinte des Objectifs du millénaire pour le développement (Omd) si des mesures correctives sont pas prises pour lever toutes les contraintes liées aux retards enregistrés dans la réalisation des investissements.

## II – 4 – 2. LES GAINS MARGINAUX

Harchaoui et Tarkhani (2003) définissent le gain marginal généré par les infrastructures publiques comme étant la négative de la dérivée partielle de la fonction de coût par rapport au stock de capital public. En effet, le gain marginal n'est rien d'autre que l'opposé du prix du capital public si ce dernier devait être incorporé dans le coût de production des entreprises. C'est donc une indication de la « volonté marginale de payer » pour une unité supplémentaire de capital public. L'importance du gain marginal dépend de l'élasticité du coût par rapport à l'intrant public mais également du coût de production de la branche rapporté au niveau du capital public, soit :

$$-\frac{\partial \tilde{C}}{\partial G} = -\frac{\partial \log(\tilde{C})}{\partial \log(G)} \times \frac{\tilde{C}}{G} = (\alpha_G + \alpha_{GG} \log(G) + \alpha_{YG} \log(Y) + \alpha_{KG} \log(\tilde{w}_K) + \alpha_{LG} \log(\tilde{w}_L) + \alpha_{Gt}) \times \frac{\tilde{C}}{G}$$

En dehors du ratio du coût de production à la taille du stock des infrastructures publiques, on peut s'apercevoir que le bénéfice marginal dépend aussi du niveau de production de la branche, des prix des intrants privés, du stock de l'intrant public et du niveau de la technologie.

**TABLEAU II.5 : Les gains marginaux moyens (1990 -2004)**

	$-\frac{\partial \tilde{C}}{\partial G} = z$
1. Agriculture vivrière	0,03 %
2. Fabrication de sucre, transformation	1,00 %
3. Fabrication de Produits Alimentaires	1,07 %
4. Egrenage de coton, et fab des textiles	0,74 %
5. Fabrication de Machines	0,19 %
6. Construction de Matériels de Transport	0,07 %
7. Energie	3,41 %
8. Construction	6,40 %
9. Commerce	8,37 %
10. Transport	3,92 %
<b>Secteur Moderne</b>	<b>5,4 %</b>

Pour chaque branche d'activité la valeur moyenne du gain marginal sur la période 1990 2004 est présentée au tableau II.5. Ces valeurs renseignent que pour une augmentation de 100 francs CFA des infrastructures publiques les gains marginaux générés varient de 0.03 francs CFA pour la branche de l'agriculture vivrière et 8,4 francs CFA pour le commerce.

Selon la grandeur du gain marginal, les branches d'activité peuvent être scindées en trois catégories : la première catégorie regroupe les branches qui jouissent des externalités positives du capital public les plus importantes, il s'agit des branches du commerce, de la construction, du transport et de l'énergie. La deuxième catégorie est constituée par les branches œuvrant dans l'agroalimentaire et les textiles. Enfin, la troisième catégorie est représentée par celles qui bénéficient le moins des infrastructures, il s'agit des branches de l'agriculture vivrière et de la fabrication de machine.

Pour l'ensemble du secteur moderne, le gain marginal est calculé comme la moyenne pondérée des gains marginaux des branches d'activité. Cependant, ce calcul suppose que pour toute branche d'activité, l'utilisation des infrastructures est libre et n'est pas préjudiciable aux autres branches. Autrement dit il n'existe pas de problème de congestion ou de rivalité. Sous cette hypothèse, *le gain marginal moyen pour l'ensemble des entreprises du secteur moderne est de l'ordre de 5,4 %*. Par conséquent, *les entreprises économisent 5,4 francs CFA pour 100 francs CFA d'infrastructures supplémentaires*.

#### **II – 4 – 3. DECOMPOSITION DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITE TOTALE DES FACTEURS**

La finalité de cette étude est d'évaluer l'impact des infrastructures publiques sur l'économie du Sénégal. L'approche utilisée pour atteindre cet objectif consiste à mesurer la contribution de ces infrastructures publiques dans la croissance de la productivité totale des facteurs. Le tableau II.6 restitue les valeurs moyennes, par branche d'activité, des différentes composantes de la croissance de la PTF.

La contribution de l'effet des marges dépend de l'évolution de la production nominale relativement à son coût. Lorsque ce dernier croît plus rapidement que la production (baisse de la marge), alors l'entreprise consacre davantage d'efforts pour améliorer sa productivité. Par conséquent la PTF augmente. La contribution de l'effet marge varie selon la branche ; elle est

négative pour la branche « fabrication de produits alimentaires » et positive pour toutes les autres. Les effets les plus importants sont enregistrés au niveau des produits de l'agriculture vivrière (0,25%), de l'énergie (0,15%), et du commerce (0,14%).

L'équation de la décomposition de la croissance de la PTF établit une relation inverse entre l'évolution des prix des facteurs rapportés au déflateur du PIB et celle de la productivité. L'interprétation sous-jacente à cette formule est que la hausse des prix des intrants d'une branche nuit à la croissance de la PTF lorsqu'elle se situe au delà du niveau d'inflation du pays. Les résultats font état d'une contribution négative de l'effet des prix des intrants pour toutes les branches d'activité à l'exception de celles de la fabrication de sucre et commerce. Ces résultats ne sont pas surprenants si l'on s'en réfère au rapport du Fonds Monétaire International (1999) lequel fait remarquer la cherté des coûts des facteurs de production au Sénégal.

**TABLEAU II.6 : Les différentes composantes de la croissance de la PTF**

	Effet marge	Effet des prix des facteurs	Effet des infras - structures	Effet de la demande exogène	Effet des progrès techniques résiduels	Taux de croissance de la PTF
1. Agriculture vivrière	0,245 %	-0,099 %	0,284 %	2,329 %	-3,460 %	<b>-0,879 %</b>
2. Fabrication de sucre, transformation	0,026 %	0,070 %	0,416 %	0,309 %	-0,569 %	<b>0,256 %</b>
3. Fabrication de Produits Alimentaires	-0,205 %	-0,122 %	0,421 %	0,448 %	-1,808 %	<b>-1,288 %</b>
4. Egrenage de coton, et fab des textiles	0,013 %	-0,017 %	0,395 %	0,498 %	-1,039 %	<b>-0,170 %</b>
5. Fabrication de Machines	0,092 %	-0,339 %	0,350 %	1,527 %	-0,640 %	<b>0,867 %</b>
6. Construction de Matériels de Transport	0,127 %	0,000 %	0,267 %	1,555 %	-3,364 %	<b>-1,493 %</b>
7. Energie	0,148 %	0,174 %	0,456 %	0,411 %	-1,346 %	<b>-0,195 %</b>
8. Construction	0,000 %	-0,120 %	0,477 %	0,195 %	-0,324 %	<b>0,223 %</b>
9. Commerce	0,144 %	0,189 %	0,492 %	0,250 %	-1,946 %	<b>-0,917 %</b>
10. Transport	0,018 %	-0,078 %	0,419 %	0,188 %	-0,056 %	<b>0,511 %</b>
<b>Secteur Moderne</b>	<b>0,0614 %</b>	<b>-0,0344 %</b>	<b>0,397 %</b>	<b>0,771 %</b>	<b>-1,456 %</b>	<b>-0,308 %</b>

Comme on peut s'y attendre intuitivement, l'effet de la demande domestique sur la productivité est positif et important. La productivité de la branche de l'agriculture vivrière est celle qui est plus sensible à la demande (2,33%). *Par conséquent, une redistribution plus efficace des revenus privilégiant le secteur agricole devrait constituer une bonne stratégie de croissance économique.* A noter également que la demande contribue de façon considérable à la productivité des branches de la fabrication de machine (1,52%) et de la construction de matériels de transport (1,55%).

L'élément central de cette étude est l'analyse de la contribution des infrastructures publiques à la croissance de la PTF. Il ressort, que le capital public contribue de manière positive à la croissance de la PTF. Son apport varie selon la branche d'activité. Il est moins important pour l'agriculture vivrière et la construction de matériel de transport et plus bénéfique pour le commerce, l'énergie, le transport et les industries de transformation de produits alimentaires. Cela rejoint l'idée exprimée par Latreille et Varoudakis (1996) selon laquelle la disponibilité des infrastructures diffère selon la localisation des unités de production et les infrastructures nécessaires pour améliorer l'efficacité de la production sont propres à chaque activité.

Somme toute, les infrastructures contribuent à hauteur de 0,4 % en moyenne à la croissance de la PTF. Toutefois, ce niveau reste en deçà de celui de la demande intérieure.

*Dans la mesure où la PTF accuse une baisse tendancielle de 0,3% sur la période 1980 2004, le niveau minimal de la contribution des infrastructures publiques pouvant permettre un redressement de cette tendance serait de près de 0,7 % correspondant à 8% de croissance des infrastructures en moyenne par an. Néanmoins, le niveau de croissance enregistré durant cette période n'est que de 5,9%.*

D'ailleurs, une analyse rétrospective de l'économie sénégalaise permet de mettre en parallèle les évolutions du capital public et de la PTF. Le tableau II.7 présente ces évolutions ainsi que le taux minimal de croissance des infrastructures publiques qu'il aurait fallu pour assurer une croissance de la PTF.

De 1980 à 1990 on observe une progression quasi nulle des infrastructures publiques alors que le taux de croissance minimal requis pour résorber la baisse de 0.45 % de la PTF est de 3,2 %.

Une partie de ce retard a été rattrapée au cours des années 1990 avec un taux de croissance du capital public de 7,2 % ; période coïncidant avec la mise en œuvre des programmes de l'Agence d'Exécution des Travaux d'Intérêt Public (AGETIP), du Programme d'Ajustement Sectoriel des Transports (PAST) ainsi que d'autres programmes de réhabilitation et de

constructions de l'Etat. Ce taux de croissance du capital public reste malgré tout insuffisant compte tenu du niveau minimal de croissance (10,8 %) nécessaire pour corriger la baisse de 0,42 % de la PTF.

Enfin, durant la période 2000-2004 on constate un renversement de la situation du fait que les infrastructures croissent à un taux de 16 % alors qu'un taux de 12,7 % seulement aurait suffi pour améliorer la PTF. Cette période est marquée en effet par une croissance rapide des investissements de l'Etat dans le domaine des infrastructures. Il faut noter la hausse substantielle du niveau moyen annuel de l'investissement public dans la « construction de bâtiment » et « autre bâtiment et génie civil » qui s'est établi à 130 milliards de Francs CFA durant la période 2000-2004 contre 52,5 milliards de Francs CFA entre 1995 et 1999 soit une augmentation de 138 %. Pour ce qui est du réseau routier, le programme de réhabilitation mis en œuvre par l'Etat a permis d'améliorer la qualité de 626,6 km de routes revêtues et 1011,5 km de routes non revêtues pour la période 2002 – 2004. D'autres exemples de réalisation d'infrastructures dans le domaine de l'hydraulique rurale méritent également d'être cités, c'est le cas notamment des constructions de bassins de rétention, lacs artificiels, forages et châteaux d'eau, qui ont du contribuer sensiblement à l'amélioration de la productivité des entreprises du secteur primaire.

TABLEAU II.7 : Evolutions des infrastructures publiques et de la PTF

Période	Taux de croissance de la PTF	Taux de croissance des infrastructures	Seuil du taux de croissance des infrastructures (*)
1980-1989	-0,45 %	0,0 %	3,2 %
1990-1999	-0,42 %	7,2 %	10,8 %
2000-2004	0,13 %	16,0 %	12,7 %
<b>1980-2004</b>	<b>-0,308 %</b>	<b>5,91 %</b>	<b>8,0 %</b>

(\*) Taux minimal de croissance des infrastructures publiques qu'il aurait fallu pour assurer une croissance de la PTF

Pour finir, les progrès techniques résiduels constituent un ensemble de phénomènes inexpliqués par le modèle et qui ont un impact sur la PTF. Leur interprétation est bien plus délicate car ils constituent le résidu de la croissance de la PTF, néanmoins il convient de mettre en exergue leur poids important dans le calcul de la PTF. En effet, *ces progrès techniques résiduels contribuent négativement à la croissance de la productivité à hauteur de*



*1,45 % en moyenne, un apport de loin supérieur, en valeur absolue, à ceux des autres composantes de la PTF. A remarquer que ce résultat est aux antipodes de ceux de la plupart des travaux réalisés pour les pays industrialisés selon lesquels les progrès techniques résiduels stimulent de manière significative la PTF dans la mesure où ils réduisent considérablement les coûts de production des entreprises. La spécificité d'un pays en voie de développement comme le Sénégal tiendrait au fait que plusieurs facteurs non mesurables, dès lors qu'ils augmentent les coûts de production, sont de nature à parasiter la croissance économique. Parmi ces facteurs on peut citer :*

- le domaine de la recherche et développement encore au stade embryonnaire au sein des entreprises ;
- un environnement des affaires sujet à des difficultés telles que la corruption et le chômage déguisé ;
- un marché du travail encore enclin à des dysfonctionnements qui se traduisent par une incompatibilité entre les structures de l'offre et la demande de travail ;
- un secteur informel de plus en plus étendu entretenant un climat de concurrence déloyale par rapport au secteur moderne et ;
- des difficultés liées au système de communication (le transport en particulier) dont les conséquences sont dommageables à la productivité des facteurs.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude a permis de mesurer la contribution des infrastructures publiques à la productivité des entreprises du secteur moderne sénégalais. Les importants travaux actuels de construction et de rénovation d'infrastructures, renforcent la pertinence du présent thème.

Les vérifications empiriques ont tout d'abord permis d'évaluer l'effet direct du capital public sur la production de l'entreprise qui se manifeste à travers les coûts de production. En effet, nos estimations révèlent que l'apport en infrastructures publiques se traduit avant tout par une réduction des coûts pour l'ensemble des branches en l'occurrence de 0,1% en moyenne pour un accroissement de l'intrant public de 1%. L'effet indirect correspond à une hausse de la demande des produits consécutive à une baisse des prix elle-même due à la réduction des coûts de production. Ainsi, cette hausse de la demande favorise la hausse de la production. Or, l'estimation des fonctions de demande aboutit dans l'ensemble à des élasticités prix non significatives aux seuils conventionnels. Ainsi pour accentuer l'effet indirect du capital public, il est nécessaire que la demande soit plus flexible aux prix. Il est alors recommandé de renforcer la mise en œuvre de réformes de libéralisation des secteurs de l'économie afin d'accentuer l'effet indirect du capital public sur la productivité.

Au total, la sensibilité de la production à un accroissement de 1% du stock d'infrastructures est de 0,15% sur la période 1980 – 2004. Sans grande surprise, cette élasticité est largement en deçà de celle de la production par rapport au capital privé qui est de l'ordre de 0.35%, ce qui confirme le rôle prépondérant du capital privé dans l'économie sénégalaise. L'efficacité du capital public réside essentiellement dans son rôle de stimulant du capital privé ; effet déjà mis en évidence par le modèle SIMPRES révisé. Aussi, nos travaux tout comme le modèle SIMPRES Révisé suggèrent un raccourcissement des délais de réalisation des infrastructures pour un meilleur rôle du capital public comme accompagnant du secteur privé.

Le calcul du taux de croissance moyen de la Productivité Totale des Facteurs (PTF) (-0,3%) met en évidence une baisse tendancielle de celle-ci sur la période d'estimation corroborant ainsi les résultats des études antérieures menées sur l'économie sénégalaise. Les progrès techniques résiduels avec une contribution de -1.4% en moyenne à la croissance de la productivité semblent le principal élément responsable de cette baisse. Il faut reconnaître toute la difficulté afférente à l'interprétation de ces progrès techniques résiduels : d'une part, ils constituent un ensemble de facteurs inexpliqués par le modèle (donc non mesurables) et ayant une incidence avérée sur la PTF ; d'autre part, ces facteurs étant spécifiques à chaque pays,

leur identification nécessite un diagnostic complet des sources potentielles de croissance économique. Pour le cas du Sénégal, quelques éléments constitutifs des progrès techniques résiduels ont été identifiés lesquels doivent être assujettis à des mesures de politiques économiques appropriées.

L'étude a également défini et calculé le prix implicite du capital public autrement dit la « volonté marginale de payer » pour une unité supplémentaire de capital public. A cet égard, nos estimations montrent que les entreprises ressentent une économie de 5,4 francs CFA pour un accroissement de 100 francs CFA d'investissements en infrastructures.

La décomposition de la croissance de la PTF a permis d'évaluer l'élément central de cette étude à savoir la contribution des infrastructures publiques qui s'établit à 0,4% en moyenne. Toutefois, elle est moins importante que celle de la demande exogène (0,8%) et des progrès techniques résiduels (-1,4%).

D'une manière générale, les résultats font apparaître des disparités entre les branches. Ainsi, l'énergie, la construction, le transport, le commerce sont les sous-secteurs qui enregistrent une meilleure performance consécutive à une hausse de l'intrant public.

Des niveaux seuils de capital public permettant de retrouver une croissance de la PTF ont été calculés sur des sous – périodes de l'échantillon. Il apparaît que sur la dernière période (2000-2004), le taux d'accroissement du capital public (16.0%) se situe au-delà du seuil minimal (12.7%) nécessaire à l'amélioration de la Productivité Totale des Facteurs. Ce fort taux est le reflet du dynamisme des investissements dans la construction de bâtiments et les travaux de génie civil. En conséquence, un maintien voire une consolidation des efforts de l'Etat est à encourager pour améliorer l'efficacité du système productif sénégalais.

Il convient en dernier lieu de préciser que d'autres approches de prise en compte du capital public dans le processus de production peuvent faire l'objet de recherche. En particulier, la définition du capital d'infrastructures pourrait être élargie pour comprendre les investissements de sociétés parapubliques notamment. Il pourrait également être envisagé de prendre en compte le secteur informel.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AARON, H. J. (1990)**, « Discussion of ‘Why is Infrastructure Important ?’ » in *Alicia H. Munnell (ed.) Is There a Shortfall in Public Capital Investment ?* (Boston: Federal Reserve Bank of Boston, 1990), 51 – 63.
- ASCHAUER, D.A. (1989)**, « Is Public Expenditure Productive ? » *Journal of Monetary Economics* 23: 177-200.
- CANNING, D. et E. BENNATHAN (2000)**, « The Social Rate of Return on Infrastructure Investments » *The World Bank, Policy Research Working Paper Series*, 2390.
- CANNING, D. et P. PEDRONI (1999)**, « Infrastructure and Long-Run Economic Growth », *Working Paper*, Funding by The World Bank and USAID.
- COLLETAZ, G. et C. HURLIN (2006)**, « Threshold Effects of the Public Capital Productivity : A International Panel Smooth Transition Approach », *Document de travail N° 2006-01*, Laboratoire d’Economie d’Orléans
- DIAGNE, Y. S. et A. FALL (2006)**, « Modèle Révisé de Simulation et de Prévision de l’Economie Sénégalaise (SIMPRES) », *A paraître*.
- DUMONT, J. C. et S. MESPLE – SOMPS (2000)**, « L’impact des infrastructures Publiques sur la compétitivité et la croissance : Une analyse en EGC appliquée au Sénégal », *Document de travail DT/2000/08*.
- EBERTS, R. W. (1986)**, « Estimating the Contribution of Urban Public Infrastructure to Regional Growth », *Working Paper 8610*, *Federal Reserve Bank of Cleveland*.
- EVANS, P. et G. KARRAS (1994)**, « Is Government Capital Productive? Evidence from a Panel of Seven Countries », *Journal of Macroeconomics*, 16 (2), 271-279.
- FERNALD, J. (1999)**, « Roads to Prosperity? Assessing the Link Between Public Capital and Productivity ». *American Economic Review* 89, 619-38.
- GARCIA-MILA, T et T. J. McGUIRE (1992)**, « The Contribution of Publicly Provided Inputs to States’ Economies », *Regional Science and Urban Economics* 22, 229-241.
- GARCIA-MILA, T., T. J. McGUIRE et R. H. PORTER (1996)**, «The Effet of Public Capital in State-Level Production Functions Reconsidered », *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 78, No. 1, 177-180.
- HARCHAOU, T. M. (1997)**, « Le capital public au Canada: évolution historique et externalités », dans *Gouriéroux C. et C. Montmarquette (ed.): Économétrie appliquée*, Economica, Paris.

- HARCHAOU, T. M. et F. TARKHANI (2003)**, « Le capital public et sa contribution à la Productivité du secteur des entreprises du Canada », *Statistique Canada*, Série de documents de recherche sur l'analyse économique (AE).
- HOLTZ-EAKIN, D., (1988)**, « Private Output, Government Capital, and the Infrastructure 'Crisis' », *Department of Economics Discussion Paper Series N° 394*, Columbia University.
- HOLTZ-EAKIN, D., (1994)**, « Public-Sector Capital and the Productivity Puzzle », *This Review* 76, 12-21
- HURLIN C. (1999)**, « La Contribution du Capital Public à la Productivité des Facteurs Privés : une Estimation sur Panel Sectoriel pour Dix Pays de l'OCDE », *Document de travail*.
- IM, K., H. PESARAN et Y. SHIN (2003)**, « Testing for Unit Root in Heterogeneous Panels », *Working Paper*, University of Cambridge (Revisited 2002 Version).
- KAO, C., M. H. CHIANG et B. CHEN (1999)**, « International R & D Spillovers : An Application of Estimation And Inference In Panel Cointegration », *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 4, 693-711.
- KAO, C. et M. H. CHIANG (2000)**, « On the Estimation and Inference of Cointegrated Regression in Panel Data », *Advances in Econometrics*, Vol. 15, 179-222.
- LATREILLE, T. et A. VAROUDAKIS (1996)**, « Croissance et compétitivité de l'industrie manufacturière au Sénégal », *Document technique OCDE n° 118*.
- LEE, K., M. H. PESARAN et R. SMITH (1998)**, « Growth Empirics: A Panel Data Approach – A Comment », *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 113, 319-323.
- LEVIN A., C. LIN et C. S. J. CHU (2001)**, « Unit Root Test in Panel Data : Asymptotic and Finite-Sample Properties », *Journal of Econometrics*, 108, 1-24.
- LYNDE, C. et J. RICHMOND (1992)**, « The Role of Public Capital in Production ». *Review of Economics and Statistics* 74, 37-44.
- LYNDE, C. et J. RICHMOND (1993)**, « Public Capital and Total Factor Productivity ». *International Economic Review*, Vol. 34, No. 2, 401-414
- MADDALA, G. S. et S. WU (1999)**, « A Comparative Study of Unit Root Test With Panel Data and New Simple Test », *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 61, 631-652.
- MBAYE, A. A. (2002)**, « A Industry Level Analysis of Manufacturing Productivity in Senegal », *Africa Region Working Paper Series N° 41*.
- McGUIRE, T.J. (1992)**, « Highways and Macroeconomic Productivity: Phase Two », *Federal Highway Administration*.

- MUNNELL, A. H. (1990)**, « Why Has Productivity Declined ? Productivity and Public Investment ». *New England Economic Review*, Federal Reserve Bank of Boston, January / February, 3-22.
- NADIRI, M.I. et MAMUNEAS, T.P. (1994a)**, « The Effects of Public Infrastructure and R&D Capital on the Cost Structure and Performance of U.S. Manufacturing Industries », *The Review of Economics and Statistics* 76: 22-37.
- NADIRI, M.I. et MAMUNEAS T.P. (1994b)**, « Infrastructure and Public R&D Investments, and the Growth of Factor Productivity in US Manufacturing Industries », *NBER Working Paper Series*, W.P. #4845.
- NORDHAUS, W. (2001)**, « Alternative Methodes for Measuring Productivity Growth », *NBER Working Paper Series* N° 8095.
- PEDRONI, P. (1999)**, « Critical Values for Cointegration Tests in Heterogeneous Panels with Multiple Regressors », *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 61, 653-670.
- PEDRONI, P. (2000)**, « Fully Modified OLS for Heterogeneous Cointegrated Panels », *Advances in Econometrics*, Vol. 15, 93-130.
- PESARAN, M. H. et R. SMITH (1997)**, « Estimating Long-Run Relationships from Dynamic Heterogeneous Panels », *Journal of Econometrics*, Vol. 68, 79-113
- RATNER, J. B. (1983)**, « Government Capital and the Production Function for U.S. Private Output », *Economic Letters*, 13: 213-17.
- SCHULTZE, C. L. (1990)**, « The Federal Budget and the Nation's Economic Health », in *Henry J. Aaron (ed.), Setting National Priorities* (Washington, DC: The Brookings Institution), 19 – 63.
- TATOM, J. A. (1991)**, « Public Capital and Private Sector Performance », *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 73: 3-15.
- VARIAN H. R. (1995)**, « Analyse microéconomique », *Edition De Boeck Université*, Series Balises
- ZINNES, C., Y. EILAT et J. SACHS (2001)**, « Benchmarking Competitiveness in Transition Economies », *Economics of Transition*, Vol. 9 N° 2.

## ANNEXE 1 : DECOMPOSITION DE LA PRODUCTIVITE TOTALE DES FACTEURS

Cette décomposition de la productivité totale des facteurs s'inspire des travaux réalisés par Nadiri et Mamuneas (1994b).

Considérons  $Y$  la quantité de bien produite par une branche d'activité. Cette quantité est supposée dépendre des intrants privés et publics et de la technologie, soit :

$$Y = F(Z, G, t) \quad (\text{A.1.1})$$

où  $Z$  est le vecteur de dimension  $m$  des intrants privés,  $G$  représente le stock de capital en infrastructures publiques et  $t$  représente les progrès techniques. La mesure du taux de croissance de la productivité totale des facteurs (privés) est donnée par la relation suivante :

$$\frac{\dot{\psi}}{\psi} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \sum_{i=1}^m \frac{\partial F}{\partial Z_i} \frac{Z_i}{Y} \frac{\dot{Z}_i}{Z_i}$$

Ou encore

$$\frac{\dot{\psi}}{\psi} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \sum_{i=1}^m \pi_i \frac{\dot{Z}_i}{Z_i} \quad (\text{A.1.2})$$

Où  $\psi$  représente la productivité totale des facteurs (PTF), le point sur la variable représente le différentiel de la variable par rapport au temps, par exemple  $\dot{\psi} = \partial \psi / \partial t$ . Et  $\pi_i = w_i Z_i / P_Y Y$  représente la part du  $i$ -ème intrant privé sur le revenu.

Considérons à nouveau l'équation (A.1.1), le taux de croissance de la production peut être défini comme suit :

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \sum_{i=1}^m \frac{\partial F}{\partial Z_i} \frac{Z_i}{Y} \frac{\dot{Z}_i}{Z_i} + \frac{\partial F}{\partial G} \frac{G}{Y} \frac{\dot{G}}{G} + \frac{\partial F}{\partial t} \frac{1}{Y} \quad (\text{A.1.3})$$

Considérant le programme de minimisation du coût total où tous les intrants (public et privés) sont variables, sous la contrainte du niveau de production, les conditions du premier ordre s'écrivent comme suit :

$$\frac{\partial F}{\partial Z_i} = \frac{w_i}{\lambda} \quad \text{et} \quad \frac{\partial F}{\partial G} = \frac{z}{\lambda} \quad (\text{A.1.4})$$

où  $w_i$  représente le prix du  $i$ ème intrant privé,  $z$  le prix implicite du stock des infrastructure publiques  $G$ . et  $\lambda$  le multiplicateur de Lagrange.

Les conditions de l'enveloppe<sup>16</sup> permettent également d'écrire :

$$\frac{\partial C^*}{\partial Y} = \lambda \text{ et } \frac{\partial C^*}{\partial t} = -\lambda \frac{\partial F}{\partial t} \quad (\text{A.1.5})$$

où  $C^* = \sum_i w_i Z_i + zG = C^*(Y, w, z, t)$  représente la fonction de coût total incluant les infrastructures public comme facteur variable. Les relations (A.1.4) et (A.1.5) montrent que

$$\frac{\partial F}{\partial Z_i} = \frac{w_i}{\left(\frac{\partial C^*}{\partial Y}\right)} \quad \text{ainsi l'équation (A.1.3) peut s'écrire de la manière suivante :}$$

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \sum_{i=1}^m \frac{w_i Z_i}{\left(\frac{\partial C^*}{\partial Y}\right)_Y} \frac{\dot{Z}_i}{Z_i} + \frac{zG}{\left(\frac{\partial C^*}{\partial Y}\right)_Y} \frac{\dot{G}}{G} - \frac{\frac{\partial C^*}{\partial t}}{\left(\frac{\partial C^*}{\partial Y}\right)_Y} \quad (\text{A.1.6})$$

Le programme de minimisation de la fonction de coût total suppose que tous les facteurs de production y compris les infrastructures publiques sont variables de sorte que les entreprises peuvent ajuster de façon optimal le niveau requis des intrants dans le processus de production. C'est pourquoi la fonction de coût total ne dépend que des prix des facteurs et non des facteurs de production. Toutefois, ce que l'on observe en réalité est la minimisation de la fonction de coût conditionnellement au niveau du stock du capital public auquel l'entreprise n'a aucune maîtrise. En d'autres termes, les entreprises minimisent la fonction de coût privé variable qui dépend aussi bien des prix des facteurs que des infrastructures publiques. Formellement, il s'agit de la minimisation de

$C_0(Y, w_i, z, G, t) = \sum_i w_i Z_i + zG = C(Y, w, G, t) + zG$ . Ainsi, à l'optimum on peut déduire le bénéfice marginal d'une augmentation de l'intrant public comme suit :

$$\frac{\partial C_0}{\partial G} = 0 \Rightarrow -\frac{\partial C}{\partial G} = z \quad (\text{A.1.7})$$

En se servant de la statique comparative, Nadiri et Mamuneas (1994b) ont montré que l'élasticité du coût total par rapport à la production  $\mu^*$  est donnée par :

$$\mu^* = \frac{\partial \log(C^*)}{\partial \log(Y)} = \frac{\left(\frac{\partial \log(C)}{\partial \log(Y)}\right)}{H} = \frac{\mu}{H} \quad (\text{A.1.8})$$

---

<sup>16</sup> Voir Varian H. -R. (1995), « Analyse microéconomique » page 78.



avec  $H = 1 - \partial \log(C) / \partial \log(G) = 1 - \mu_{CG}$ ,  $\mu_{CG}$  et  $\mu$  étant respectivement les élasticités du coût privé par rapport au stock des infrastructures publiques et à la production. La variation du coût de production due au progrès techniques est établie comme suit :

$$\frac{\dot{\tau}}{\tau} = \frac{\partial \log(C^*)}{\partial t} = \frac{\partial \log(C) / \partial t}{H}$$

A partir de (A.1.8) on peut déduire le ratio du prix des produits au coût moyen comme suit :

$$eH = \frac{P_Y Y}{C^*} H = \frac{P_Y Y}{C} \quad (\text{A.1.9})$$

En utilisant les relations (A.1.7), (A.1.8), (A.1.9), l'équation (A.1.6) peut être réécrite selon les expressions ci-après :

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \sum_{i=1}^m \frac{w_i Z_i}{\mu^* C^*} \frac{\dot{Z}_i}{Z_i} - \left( \frac{\partial C}{\partial G} \right) \frac{\dot{G}}{G} - \frac{\frac{\partial C^*}{\partial t}}{\mu^* C^*} \Rightarrow \frac{\mu^* C^*}{P_Y Y} \frac{\dot{Y}}{Y} = \sum_{i=1}^m \frac{w_i Z_i}{P_Y Y} \frac{\dot{Z}_i}{Z_i} - \left( \frac{\partial C}{\partial G} \right) \frac{\dot{G}}{G} - \frac{\frac{\partial C^*}{\partial t}}{P_Y Y}$$

Par conséquent, la relation (A.1.2) du taux de croissance de la PTF est formulée comme suit :

$$\frac{\dot{\psi}}{\psi} = \left( \frac{e - \mu^*}{e} \right) \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\mu_{CG}}{eH} \frac{\dot{G}}{G} - \frac{1}{e} \frac{\dot{\tau}}{\tau} \quad (\text{A.1.10})$$

Pour obtenir l'expression finale de la décomposition de la PTF nous nous devons d'abord de définir les taux de croissance du coût privé et du prix de la production ainsi que l'équation de demande de production.

\* Taux de croissance de la fonction de coût privé :

L'équation de mouvement associé à  $C(Y, w, G, t)$  est donnée par l'expression :

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{\partial C}{\partial Y} \frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_i \frac{\partial C}{\partial w_i} \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \frac{\partial C}{\partial G} \frac{\dot{G}}{G} + \frac{\partial C}{\partial t} \frac{1}{C} = \frac{\partial C}{\partial Y} \frac{Y}{C} \frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_i \frac{\partial C}{\partial w_i} \frac{w_i}{C} \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \frac{\partial C}{\partial G} \frac{G}{C} \frac{\dot{G}}{G} + \frac{\partial \log(C)}{\partial t}$$

Le lemme de Shephard<sup>17</sup> stipule que :  $\frac{\partial C}{\partial w_i} = Z_i$  et puisque  $\frac{Z_i w_i}{C} = \pi_i$ , alors :

$$\frac{\dot{C}}{C} = \mu \frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_i \pi_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G} + \frac{\dot{\tau}}{\tau} H \quad (\text{A.1.11})$$

\*\* Taux de croissance du prix de la production

<sup>17</sup> Voir Varian H. -R. (1995), « Analyse microéconomique » page 76.

Supposons que les structures du marché de la production sont guidées par des règles autres que concurrentielles de sorte que le prix du marché se démarque du coût marginal, alors la fonction de prix peut prendre la forme suivante :

$$P_Y = (1 + \nu) \frac{\partial C}{\partial Y} \quad \text{ou encore} \quad P_Y = (1 + \nu) \mu \frac{C}{Y}$$

Posons  $(1 + \nu) = \delta$ , alors nous obtenons l'expression du taux de croissance du prix sous la forme :

$$\frac{\dot{P}_Y}{P_Y} = \frac{\dot{\delta}}{\delta} + \frac{\dot{\mu}}{\mu} + \frac{\dot{C}}{C} - \frac{\dot{Y}}{Y} \quad (\text{A.1.12})$$

En intégrant (A.1.11) dans (A.1.12), nous obtenons :

$$\frac{\dot{P}_Y}{P_Y} = \frac{\dot{\delta}}{\delta} + \frac{\dot{\mu}}{\mu} + \mu \frac{\dot{Y}}{Y} + \sum_i \pi_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} + \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G} + \frac{\dot{\tau}}{\tau} H - \frac{\dot{Y}}{Y} \quad (\text{A.1.13})$$

### \*\*\* Equation de demande

Afin d'obtenir l'équilibre de la croissance de la production, nous supposons que les mouvements de la demande de sont déterminés en fonction du prix de la production ( $P_Y$ ) normalisé par le déflateur du PIB ( $P$ ) et Revenu domestique ( $R$ ) mesuré par le PIB, soit :

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \rho + \alpha \left( \frac{\dot{P}_Y}{P_Y} - \frac{\dot{P}}{P} \right) + \beta \frac{\dot{R}}{R} \quad (\text{A.1.14})$$

En intégrant (A.1.13) dans (A.1.14), nous obtenons :

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\alpha}{V} \left( \frac{\dot{\delta}}{\delta} + \frac{\dot{\mu}}{\mu} \right) + \frac{\alpha}{V} \left( \sum_i \pi_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} - \frac{\dot{P}}{P} \right) + \frac{\alpha}{V} \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G} + \frac{\alpha}{V} \frac{\dot{\tau}}{\tau} H + \frac{1}{V} \left( \rho + \beta \frac{\dot{R}}{R} \right) \quad (\text{A.1.15})$$

Avec  $V = [1 - \alpha(\mu - 1)]$

Enfin, en remplaçant cette dernière expression du taux de croissance de la production dans l'équation (A.1.10), nous obtenons l'expression finale de la décomposition de la PTF :

$$\frac{\dot{\psi}}{\psi} = \alpha U \left( \frac{\dot{\mu}}{\mu} + \frac{\dot{\delta}}{\delta} \right) + \alpha U \left( \sum_i \pi_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} - \frac{\dot{P}}{P} \right) + \left( \alpha U - \frac{1}{eH} \right) \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G} + \left( \alpha UH - \frac{1}{e} \right) \frac{\dot{\tau}}{\tau} + U \left( \rho + \beta \frac{\dot{R}}{R} \right)$$

$$\frac{\dot{\psi}}{\psi} = \alpha U \left( \frac{\dot{P}_Y}{P_Y} + \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{C}}{C} \right) + \alpha U \left( \sum_i \pi_i \frac{\dot{w}_i}{w_i} - \frac{\dot{P}}{P} \right) + \left( \alpha U - \frac{1}{eH} \right) \mu_{CG} \frac{\dot{G}}{G} + \left( \alpha UH - \frac{1}{e} \right) \frac{\dot{\tau}}{\tau} + U \left( \rho + \beta \frac{\dot{R}}{R} \right)$$

(A.1.15)

$$\text{Avec } U = \frac{\left( \frac{e - \mu^*}{e} \right)}{V} = \frac{\left( \frac{e - \mu^*}{e} \right)}{[1 - \alpha(\mu - 1)]}$$

## ANNEXE 2 : RESULTATS DES TESTS DE RACINE UNITAIRE ET DE COINTEGRATION SUR PANEL

### A 2.1 : TESTS DE RACINE UNITAIRE SUR PANEL

TABLEAU 1 : Test de Racine Unitaire appliqué aux données groupées (variables en niveau)  
Spécification de l'équation :

Variables	Levin-Lin-Chu		Im-Pesaran-Shin			Maddala-Wu
	$t_\rho$	$t_\rho^*$	$\bar{t}_{NT}$	$\bar{Z}_{iNT}$	$\bar{W}_{iNT}$	$\lambda_{MW}$
$\log(\tilde{C})$	-0,47	1,75	-0,52	2,96	3,33	15,78
$\log(\tilde{w}_K)$	-5,55***	-1,02	-1,99	-0,71	-0,66	22,03
$\log(\tilde{w}_L)$	-1,69**	-1,34*	-1,73	-1,15	-0,87	18,87
$\log(Y)$	-0,03	1,88	-0,54	3,16	3,34	12,36
$(\log(\tilde{w}_K))^2$	-5,82***	-1,51*	-2,12	-1,63*	-1,50*	30,74*
$(\log(\tilde{w}_L))^2$	-5,11***	-1,53*	-1,54	-0,33	-0,27	13,24
$(\log(Y))^2$	1,20	3,36	-0,11	4,41	4,85	3,75
$\log(\tilde{w}_K) * \log(\tilde{w}_L)$	-6,12***	-1,18	-2,10	-1,48*	-1,34*	26,00
$\log(\tilde{w}_K) * \log(Y)$	-4,64***	0,70	-1,48	-0,06	0,11	7,36
$\log(\tilde{w}_K) * \log(G)$	-5,01***	0,85	-1,76	-0,63	-0,85	14,01
$\log(\tilde{w}_K) * t$	-1,03	0,35	-0,31	3,70	4,00	4,90
$\log(\tilde{w}_L) * \log(Y)$	-0,30	1,82	-0,50	3,05	3,35	7,81
$\log(\tilde{w}_L) * \log(G)$	4,70	7,91	1,35	9,01	9,34	2,56
$\log(\tilde{w}_L) * t$	0,48	0,87	0,46	5,94	6,28	5,30
$\log(Y) * \log(G)$	10,21	13,55	2,64*	13,79	14,30	1,47
$\log(Y) * t$	8,72	9,89	2,98***	13,01	14,98	2,01
$S_K$	-5,46***	-2,15***	-1,91	-1,46*	-1,37*	31,12*
$S_L$	-5,36***	-2,10**	-1,80	-1,11	-0,99	16,39

**Note :** le nombre maximum de retard est déterminé suivant les critères de Akaike et de Schwartz. Le nombre d'étoiles allant de 1 à 3, signifie le rejet de l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire respectivement au seuil de 10%, 5% et 1%. Les valeurs critiques de la statistique  $\bar{t}_{NT}$  sont égales à -2,58, -2,70 et -2,94 respectivement au seuil de 10%, 5% et 1%. Les deux autres statistiques de IPS ( $\bar{Z}_{iNT}$  et  $\bar{W}_{iNT}$ ) et celles de Levin-Lin-Chu sont distribuées selon la loi normale centrée réduite leurs valeurs critiques sont égales à -1,28, -1,65 et -2,33 respectivement aux seuils de 10%, 5% et 1%. La statistique de Maddala-Wu suit la loi  $\chi^2(20)$ , ici l'hypothèse H0 est rejetée lorsque la statistique  $MW$  est supérieure à 28,4, 31,4 et 37,6 respectivement au seuil de 10%, 5% et 1%. Tous les tests sont unilatéraux.

TABLEAU 2 : Test de Racine Unitaire appliqué aux données groupées (variables en différence première)

Spécification de l'équation :  $\Delta y_{it} = \phi_i + \rho_i y_{it-1} + \sum_l^{k_i} \theta_{il} \Delta y_{it-l} + u_{it}$

Variables	Levin-Lin-Chu		Im-Pesaran-Shin			Maddala-Wu
	$t_\rho$	$t_\rho^*$	$\bar{t}_{NT}$	$\bar{Z}_{iNT}$	$\bar{W}_{iNT}$	$\lambda_{MW}$
$\log(\tilde{C})$	-16,87***	-12,62***	-5,22***	-11,83***	-12,77***	60,08***
$\log(\tilde{w}_K)$	-18,09***	-14,37***	-5,69***	-13,04***	-14,33***	67,17***
$\log(\tilde{w}_L)$	-13,00***	-7,74***	-3,95***	-8,00***	-8,27***	47,08***
$\log(Y)$	-16,86***	-13,35***	-5,10***	-11,52***	-12,36***	59,45***
$(\log(\tilde{w}_K))^2$	-17,35***	-13,59***	-5,55***	-12,84***	-13,82***	87,39***
$(\log(\tilde{w}_L))^2$	-13,22***	-7,48***	-3,99***	-7,44***	-8,39***	49,20***
$(\log(Y))^2$	-16,36***	-12,82***	-4,97***	-10,04***	-11,98***	52,83***
$\log(\tilde{w}_K) * \log(\tilde{w}_L)$	-16,75***	-12,65***	-5,20***	-11,40***	-12,66***	64,02***
$\log(\tilde{w}_K) * \log(Y)$	-15,53***	-11,35***	-4,79***	-10,91***	-11,30***	47,62***
$\log(\tilde{w}_K) * \log(G)$	-17,06***	-13,09***	-5,35***	-12,00***	-13,15***	56,37***
$\log(\tilde{w}_K) * t$	-17,26***	-12,51***	-5,68***	-13,05***	-14,14***	64,00***
$\log(\tilde{w}_L) * \log(Y)$	-15,56***	-10,30***	-5,15***	-11,00***	-12,49***	48,41***
$\log(\tilde{w}_L) * \log(G)$	-10,80***	-6,21***	-3,42***	-4,98***	-6,54***	40,03***
$\log(\tilde{w}_L) * t$	-12,86***	-7,65***	-4,25***	-8,04***	-9,18***	45,71***
$\log(Y) * \log(G)$	-9,22***	-6,42***	-3,01***	-4,00***	-5,13***	39,60***
$\log(Y) * t$	-10,20***	-6,62***	-3,40***	-5,85***	-6,46***	40,00***
$S_K$	-15,90***	-12,63***	-4,98***	-10,49***	-11,85***	67,07***
$S_L$	-15,32***	-12,36***	-4,71***	-10,84***	-11,05***	62,01***

**Note :** le nombre maximum de retard est déterminé suivant les critères de Akaike et de Schwartz. Le nombre d'étoiles allant de 1 à 3, signifie le rejet de l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire respectivement au seuil de 10%, 5% et 1%. Les valeurs critiques de la statistique  $\bar{t}_{NT}$  sont égales à -2,58, -2,70 et -2,94 respectivement au seuil de 10%, 5% et 1%. Les deux autres statistiques de IPS ( $\bar{Z}_{iNT}$  et  $\bar{W}_{iNT}$ ) et celles de Levin-Lin-Chu sont distribuées selon la loi normale centrée réduite leurs valeurs critiques sont égales à -1,28, -1,65 et -2,33 respectivement aux seuils de 10%, 5% et 1%. La statistique de Maddala-Wu suit la loi  $\chi^2(20)$ , ici l'hypothèse H0 est rejetée lorsque la statistique  $MW$  est supérieure à 28,4, 31,4 et 37,6 respectivement au seuil de 10%, 5% et 1%. Tous les tests sont unilatéraux.

## A 2.1 : TESTS DE COINTEGRATION SUR PANEL

TABLEAU 3 : Test de Cointégration de Pedroni (1999) appliqué à la fonction de coût translog

Statistique	Equation de part du capital	Equation de part du travail
Panel $\nu$	1,00	2,24***
Panel $\rho$	0,47	-0,06
Panel $t$	-3,15***	-3,70***
Panel $t$ (P)	-2,10***	-2,81***
Group $\rho$	1,00	0,93
Group $t$	-4,20***	-4,01***
Group $t$ (P)	-3,05***	-3,34***

**Note:** Toutes les statistiques sont distribuées selon la loi normale centrée réduite. A l'exception du test panel- $\nu$ , les valeurs largement négatives conduisent au rejet de l'hypothèse nulle d'absence de relation de cointégration. Le nombre d'étoiles allant de 1 à 3 dénote respectivement les niveaux de significativité aux seuils de 10%, 5% et 1%.