

**UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE -LILLE1**

**Ecole Doctorale – ED-73**

**Sciences Economiques, Sociales, de l'Aménagement et du Management  
(SESAM)**

**Lille Economie Management (LEM) – UMR CNRS-9221**

*Thèse en vue de l'obtention du doctorat en science économique*

**Cyprien DAKOUO**

**La convergence des productivités :**

**Comparaison entre la zone euro et les autres pays de l'OCDE**

**Directeurs :**

**Jean-Philippe BOUSSEMARY** : Professeur, Université Lille 3

**Hervé LELEU** : Directeur de recherche, CNRS

**Membres du jury :**

**Raluca PARVULESCU** : Professeure Assistant, IESEG School of Management

**Stéphane BLANCARD** : Professeur, Agrosup Dijon

**Walter BRIEC** : Professeur, Université de Perpignan (rapporteur)

**Christophe TAVÉRA** : Professeur, Université de Rennes 1 (rapporteur)

*Soutenue le 27 Juin 2017*



Cyprien DAKOUO

La convergence des productivités :  
Comparaison entre la zone euro et les autres pays de l'OCDE

Soutenu le 27 Juin 2017

L'université Lille 1 Sciences et Technologies n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

IESEG-School of Management  
3, Rue de la Digue  
59000 Lille



## Remerciements

Au terme de ce projet de recherche, je me sens si redevable à tous ceux qui m'ont motivé et soutenu tout au long de ces années. Universitaires, amis et hommes d'Eglise qui m'ont encouragé à reprendre cette audacieuse entreprise, en complément de mon premier choix de ma vie comme prêtre.

Ma reconnaissance est pour vous, Jean Philippe Boussemart et Hervé Leleu de m'avoir accepté et cru capable de conduire un projet de thèse malgré que je sois votre aîné. Jean Philippe, notre relation remonte à tes jeunes années de professeur. Elle s'est approfondie quand nous avons découvert la communauté de valeurs qui nous liait grâce aux circonstances de la vie. Tu m'as fait connaître Hervé et vous m'avez tous deux fait bon accueil à chacune de nos rencontres de travail. Merci aux rapporteurs de cette thèse : les Professeurs Walter Briec et Christophe Tavéra, ainsi qu'aux deux autres membres du jury : la Professeure Assistant Madame Raluca Parvulescu et le Professeur Stéphane Blancard. Par vos remarques et critiques diverses vous avez permis d'accroître la qualité scientifique de ce travail.

Je voudrais aussi remercier Monsieur Jean Philippe Ammeux et tout l'IESEG de m'avoir accueilli dans cette école de renom, où la qualité de la formation n'a plus besoin d'être prouvée. Alors même que je me souciais de comment j'allais pouvoir m'intégrer dans un rythme universitaire, vous m'avez offert gracieusement ce cadre international, idéal pour le travail et les rencontres d'étudiants de tous les continents. Merci au personnel administratif, aux professeurs et doctorants de l'IESEG. Un merci particulier, aux collègues du département d'économie et de méthodes quantitatives. Surtout à toi Zhiyang Shen. Tu m'es devenu proche au long des années passées ensemble dans les mêmes bureaux. Mieux que des paroles échangées, c'est d'une osmose de valeurs que notre relation se nourrit aujourd'hui.

Merci à toi Philippe Hommerin de m'avoir motivé à poursuivre ce projet. En ces moments de désert où la tentation d'arrêter ce fastidieux travail me gagnait, tu étais là. Toujours présent, je pouvais compter sur toi pour me motiver et je le pourrais encore, je le sais. A Eloi Diarra, je voudrais aussi exprimer ma reconnaissance pour son implication, sans laquelle je n'aurais pu entreprendre ce projet, alors qu'il n'était encore que rêve.

A vous, Jean François Berthe, Dominique Sieldel, Laurence et Simone Lécuyer, Michel Veys et à tous ceux qui ont donné d'eux-mêmes pour lire, corriger et mettre en forme cet ouvrage. A chacun d'eux ce travail doit sa finition et sa qualité de forme.

---

**RESUME GENERAL**

Notre objectif est de comparer la dynamique sur longue période des Productivités Globales des Facteurs (PGF) des pays de la zone euro à celle d'un ensemble de pays dénommé « autres OCDE ». Cet objectif général est subordonné à deux autres plus spécifiques. Le premier vise à analyser les gains de productivité à partir d'une modélisation paramétrique de la frontière de production et son estimation par la méthode des frontières stochastiques. Il permet d'examiner la sigma-convergence absolue des PGF des deux zones. Le second, s'appuyant sur un modèle d'activités non paramétrique pour représenter la technologie des possibles, examine les évolutions des inefficacités productives qui sont les sous-jacents des dynamiques de la PGF. Le concept d'inefficacité productive est ici défini comme l'écart d'un pays à sa frontière de production elle-même représentée par les performances productives des économies leaders. Sur le plan empirique, nous examinons les évolutions de long terme de la PGF de 11 pays de la zone euro (Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Italie, Pays-Bas, Portugal) et 11 pays du groupe « autres OCDE » (Australie, Canada, Danemark, Etats-Unis, Islande, Japon, Norvège, Nouvelle-Zélande, Royaume-Uni, Suède, Suisse).

Entre 1965 et 2015, nos résultats montrent que la zone euro connaît un meilleur taux de croissance tendanciel de la PGF que celui des autres pays de l'OCDE ; bien que les niveaux de productivité de ceux-ci soient plus élevés. Ceci atteste un phénomène de rattrapage mais qui en revanche s'interrompt à la fin des années 1990. La  $\sigma$ -convergence illustrée par la dynamique des coefficients de variation des niveaux des PGF entre les pays montre des évolutions similaires entre les zones euro et « autres OCDE » jusqu'en 1970. A partir de cette date, la zone euro continue à réduire les écarts de productivité entre les pays membres, à la différence de ceux du groupe « autres OCDE ». Mais depuis le début des années 2000, un mouvement de divergence s'installe entre les pays de l'Euroland qui s'accroît encore plus à partir de 2008-2009. En s'intéressant plus particulièrement aux variations des inefficacités productives sous-jacentes aux variations des productivités, nous dégagons trois faits majeurs. Premièrement, l'existence d'un rattrapage technologique au sein de chaque zone qui apparaît cependant plus rapide pour le groupe « autres OCDE ». Deuxièmement, ce

rattrapage technologique se fait non pas vers la frontière mais en dessous de celle-ci. Troisièmement, pour chaque zone les fortes réductions des inefficacités structurelles entre le milieu des années 1970 et le début des années 2000 attestent d'une homogénéisation des mixes d'output/inputs entre les pays membres. Ce phénomène de convergence structurelle s'est interrompu depuis et s'est même transformé en un mouvement de divergence à partir de la crise des subprimes. L'examen de la convergence conditionnelle aux variables monétaires (taux d'intérêt de long terme, taux de change et taux d'inflation) budgétaires (déficit et dette publics) et réelles (balance des transactions courantes, coûts des inputs) conduit à des résultats différents suivant qu'il s'agit du processus de rattrapage technologique basé sur les évolutions des inefficacités techniques ou du processus de convergence structurelle basé sur l'homogénéisation des mixes d'output/inputs. Sur les inefficacités techniques les résultats sont les suivants : la croissance des variables budgétaires exerce des effets défavorables, tandis que les hausses des coûts des facteurs de production et le degré d'ouverture internationale accélèrent la convergence des performances entre les pays de chaque zone. De plus, les variables monétaires n'ont aucun effet sur le rattrapage technologique. Sur la convergence structurelle, seules les hausses des coûts unitaires du travail et du capital exercent un impact positif.

Notre analyse permet finalement de mettre en lumière sur le long terme l'existence d'un mouvement de convergence aussi bien technique que structurel entre les économies développées. Cependant plus récemment et au sein de l'espace de l'Union Monétaire Européenne (UME), cette convergence des performances économiques entre les pays membres marque nettement le pas. Si un fort mouvement de convergence préexistait à l'introduction de la monnaie unique, il semble que depuis la création de l'euro, cette dynamique se soit interrompue voire inversée et notamment depuis la crise de 2008-2009. De plus, les critères monétaires de Maastricht n'apparaissent pas clairement jouer un rôle incitatif à l'homogénéisation des performances productives.

**Mots clés :** Productivité Globale des Facteurs ; convergence/divergence ; rattrapage technologique ; fonctions distance directionnelle, inefficacité technique/structurelle, zone euro.

---

**GENERAL ABSTRACT**

In this thesis, we focus on comparing the long-run dynamics of Total Factor Productivity (TFP) among the Eurozone countries to that of another group, referred to as "other OECD countries". This general objective is divided into two more specific research subjects. The first one aims to analyze productivity gains for OECD countries based on a parametric production frontier which could be estimated by a stochastic frontier approach. It allows us to investigate the absolute sigma-convergence of the TFP within the two zones. The second sub-objective is to examine the evolution of productive inefficiencies underlying the dynamics of TFP. Here the concept of productive inefficiency is defined as the gap between a country and its production frontier. This frontier is represented by the productive performances of the leading economies and estimated by a non-parametric method. In empirical applications, we attempt to discover the long-term trends of the TFP among 22 OECD countries: a group of 11 states belonging to the Eurozone (Austria, Belgium, Ireland, Finland, France, Germany, Greece, Italy, the Netherlands, Portugal and Spain), and 11 other OECD countries (Australia, Canada, Denmark, United States, Japan, Norway, New Zealand, Sweden, Switzerland, United Kingdom and Iceland).

Our empirical results show that productivity growths over the period of 1965-2015 are leading by the Eurozone but not by the "other OECD countries". However, the level of productivity still seems to be higher in "other OECD countries" even if TFP growth rates are greater for Eurozone. This indicates that a catching up process between the two groups has occurred until the end of 1990s. This may be illustrated by the dynamics of the coefficients of variation of TFP levels among countries implying a similar evolution between the Eurozone and "other OECD" zones until 1970. Contrasting the "other OECD" group, the Eurozone countries have continued to reduce productivity differences among participants from this date to the end of the nineties. Since the beginning of 21st century, a divergence movement has been taking place in the Eurozone that was significantly observed in 2008/2009.

We can identify three major evidences from looking at the variations in productive inefficiencies that underlies productivity changes. Firstly, technological catching-up processes are detected in the two groups of countries, while the one within the "Other OECD" group appears to be faster. Secondly, the catching up efficiency processes do not move the countries

toward the frontier but make them converge below the frontier. Thirdly, a significant structural inefficiency decrease is noticed between the mid-1970s and the early 2000s indicating a homogenization of output/input mixes within each zone. This phenomenon of structural convergence has been even turned to a movement of divergence since the subprime crisis in 2008.

To examine the conditional convergence of monetary indicators (long-term interest rates, exchange rates and inflation rates), budgetary policies (Government deficit and public debt) and real variables (current account balance, input costs) could help to better understand the processes of technological catch-up and structural convergence. For technical efficiency changes, our results show that budgetary variables have negative effects while the increase of input costs and the degree of international openness could accelerate the convergence process of technical inefficiency. Our results also indicate that monetary variables have no effect on technological catch-up. We also note that only the increases of unit labor and capital costs have a positive impact on the structural convergence.

Finally, in the long run, we highlight the existence of convergence processes among developed economies both with regard technical and structural efficiencies. More recently, these convergence processes seem to have stalled for the Eurozone countries. Indeed, if a strong convergence phenomena exists before the introduction of the Euro currency it has been interrupted or even reversed particularly after the 2008-2009 crisis. Moreover, the monetary criteria of Maastricht do not seem to favor technological catching-up and homogenization of productive performances among Eurozone countries.

**Keywords :** Total Factor Productivity ; Convergence / divergence ; Technological catch-up ; Directional distance functions ; technical / structural inefficiency ; Eurozone.

<b>TABLE DES MATIERES</b>
---------------------------

<i>Université des Sciences et Technologies de Lille -Lille1</i> .....	<b>0</b>
Remerciements .....	1
<b>Résumé général</b> .....	<b>3</b>
<b>General abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>9</b>
<b>Liste des Figures</b> .....	<b>11</b>
<b>Liste des Graphiques</b> .....	<b>13</b>
<b>Liste des Tableaux</b> .....	<b>15</b>
<b>Introduction GÉNÉRALE</b> .....	<b>17</b>
<b>Bibliographie de l'Introduction Générale</b> .....	<b>26</b>
<b>Chapitre I La convergence de la productivité du travail par accumulation du capital : Le modèle néoclassique de Solow et Swan</b> .....	<b>29</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>29</b>
Section 1 - La contribution de Solow : l'approche néoclassique de la convergence .....	30
Section 2- Aperçu de la convergence économique : concept, caractéristiques et typologie .....	48
Section 3 - Quelques études empiriques de la convergence à partir du modèle de Solow .....	58
Section 4 - L'analyse de la convergence par les approches des séries chronologiques et de la distribution de la $\sigma$ -convergence .....	70
Section 5 - Quelques tests de la $\beta$ -convergence entre les économies européennes .....	75
<b>Conclusion :</b> .....	<b>80</b>
<b>Bibliographie du chapitre I</b> .....	<b>82</b>
<b>Chapitre II La convergence de la productivité totale des facteurs : Catching-up technologique et capital deepening</b> .....	<b>89</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>89</b>
Section 1 - Le déterminant des écarts de productivité : la PGF .....	91
Section 2 - L'Efficacité productive et la problématique de Gap-Technologique .....	101
Section 3 - les convergences de PGF : Catching-up et capital deepening .....	120
<b>Conclusion :</b> .....	<b>136</b>
<b>Bibliographie du chapitre II</b> .....	<b>138</b>
<b>Chapitre III Analyse de la convergence des productivités par l'approche des frontières stochastiques : Une comparaison de la zone euro aux autres pays industrialisés</b> .....	<b>153</b>
Introduction .....	153
Section 1 - Gains de productivité globale et frontière de production paramétrique stochastique ...	155
Section 2 - Les estimations des productivités globales et l'analyse de leur convergence .....	160
Conclusion : .....	177
<b>Bibliographie du chapitre III</b> .....	<b>179</b>
<b>Chapitre IV Analyse des processus de convergence avec les fonctions distances directionnelles non paramétriques</b> .....	<b>181</b>
Section 1 - Revue de la littérature de l'approche non-paramétrique de la convergence de la PGF ..	184
Section 2 - Définitions et mesures des concepts .....	188

---

Section 3 - Une estimation non paramétrique robuste des scores d'inefficacité par sous-échantillonnage.....	199
Section 4 - Les modèles de catching-up technologique et de convergence structurelle conditionnels aux contextes des économies .....	202
Section 5 - L'analyse empirique du rattrapage technologique et de la convergence structurelle.....	204
<b>Conclusion :</b> .....	<b>221</b>
<b>Bibliographie du chapitre IV</b> .....	<b>222</b>
<b>Conclusion Générale</b> .....	<b>228</b>
<b>Bibliographie de la Conclusion Générale</b> .....	<b>232</b>

<b><i>LISTE DES ABREVIATIONS</i></b>
--------------------------------------

<b>AMECO</b>	<b>Annual Macroeconomic Database of the European Commission</b>
<b>art.</b>	Article
<b>B-S</b>	Barro et Sala-I-Martin
<b>BTC</b>	Balance des Transactions Courantes
<b>CCR</b>	Charnes, Cooper et Rhodes
<b>CES</b>	Constant Elasticity of Substitution
<b>CRS</b>	Constant Returns to Scale
<b>DEA</b>	Data Envelopment Analysis
<b>DFP</b>	Deficit Public
<b>DMU</b>	Decision Making Unit
<b>DTP</b>	Dette Publique
<b>EXP</b>	Taux de change
<b>IDE</b>	Investissements Directs à l'Etranger
<b>IG</b>	Inefficacité Globale
<b>IGNR</b>	Inefficacité Globale Non Radiale
<b>IPCH</b>	Indice des Prix à la Consommation Harmonisé
<b>IRLT</b>	Taux d'intérêt de Long terme
<b>IS</b>	Inefficacité Structurelle
<b>IT</b>	Inefficacité Technique
<b>ITNR</b>	Inefficacité Technique Non Radiale
<b>MCO</b>	Moindres Carrés Ordinaires
<b>M-R-w</b>	Mankiw, Romer et Weil
<b>mtpe</b>	Meilleure taille de production à l'échelle
<b>NDRS</b>	Non-Décreasing Returns to Scale
<b>NIRS</b>	Non-Increasing Returns to Scale
<b>OCA</b>	Optimum Currency Area
<b>OCDE</b>	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development

---

<b>PGF</b>	Productivité Globale des Facteurs
<b>PIB</b>	Produit Intérieur Brut
<b>PIB/hbts</b>	PIB par habitant
<b>PL</b>	Programme Linéaire
<b>POP</b>	Population
<b>PPA</b>	Parité de pouvoirs d'Achat
<b>R&amp;D</b>	Recherche et Développement
<b>SFA</b>	Stochastic Frontier Approach
<b>SURE</b>	Seemingly Unrelated Regression Equations
<b>TVE</b>	Time Varying Effect
<b>UE</b>	Union Européenne
<b>UME</b>	Union Monétaire Européenne
<b>USA</b>	United States of America.
<b>VRS</b>	Variable Returns to Scale

<b>LISTE DES FIGURES</b>
--------------------------

	<b>Chapitre I</b>
<b>Figure 1</b>	Le Principe de l'accumulation du capital
<b>Figure 2</b>	L'effet du progrès technique sur la croissance
<b>Figure 3</b>	L'hypothèse de Convergence Economique
<b>Figure 4</b>	L'hypothèse de rattrapage d'un pays riche par un pays moins riche
	<b>Chapitre II</b>
<b>Figure 1</b>	Frontière de production dans l'espace output-input
<b>Figure 2</b>	Frontière de production, espaces outputs et inputs
<b>Figure 3</b>	Frontière de production des rendements à l'échelle
<b>Figure 4</b>	Fonction distance orientation output (Shephard)
<b>Figure 5</b>	Fonction distance orientation input
<b>Figure 6</b>	Fonction distance et problématique du gap-technologique
<b>Figure 7</b>	Le rattrapage du gap-technologique
<b>Figure 8</b>	La convergence par catching-up et capital deepening
	<b>Chapitre III</b>
<b>Figure 1</b>	La frontière stochastique
	<b>Chapitre IV</b>
<b>Figure 1</b>	Le Catching-up en dessous ou vers la frontière
<b>Figure 2</b>	Ecarts de PGF dus aux effets techniques et d'échelle
<b>Figure 3</b>	Inefficacité structurelle dans l'espace des inputs
<b>Figure 4</b>	Inefficacité structurelle dans l'espace des outputs
<b>Figure 5</b>	Inefficacité structurelle dans l'espace input/output



<b><i>LISTE DES GRAPHIQUES</i></b>
------------------------------------

	<b><i>Chapitre III</i></b>
<b>Graphique 1</b>	Evolutions comparées des PIB en milliards d'euros PPA
<b>Graphique 2</b>	Evolutions comparées des stocks nets de capital en milliards d'euros PPA
<b>Graphique 3</b>	Evolutions comparées du nombre d'emplois en milliers de personnes
<b>Graphique 4</b>	Evolutions comparées de l'intensité capitalistique
<b>Graphique 5</b>	Evolutions comparées des productivités du travail
<b>Graphique 6</b>	Evolutions comparées des coefficients de variation des productivités du travail
<b>Graphique 7</b>	Dynamique de la part du capital dans le PIB
<b>Graphique 8</b>	Niveaux relatifs des PGF
<b>Graphique 9</b>	Niveaux des efficacités
<b>Graphique 10</b>	Coefficients de variation des niveaux des PGF
	<b><i>Chapitre IV</i></b>
<b>Graphique 1</b>	Evolution des différentes inefficacités pour l'ensemble des pays
<b>Graphique 2</b>	Evolution des inefficacités globales
<b>Graphique 3</b>	Evolution des inefficacités techniques
<b>Graphique 4</b>	Evolution des inefficacités structurelles
<b>Graphique 5</b>	Distributions statistiques des estimateurs des paramètres relatifs aux variables
<b>Graphiques 6</b>	Distributions statistiques des estimateurs des paramètres relatifs aux variables



<b><i>LISTE DES TABLEAUX</i></b>
----------------------------------

	<b><i>Chapitre I</i></b>
<b>Tableau 1</b>	Récapitulatif de l'effet des critères de Maastricht sur de la convergence conditionnelle de 15 pays de la zone euro.
	<b><i>Chapitre III</i></b>
<b>Tableau 1</b>	Estimations des paramètres issues de la procédure SUR
<b>Tableau 2</b>	Taux de croissance annuels moyen de la productivité globale des facteurs
	<b><i>Chapitre IV</i></b>
<b>Tableau 1</b>	Estimations du paramètre de rattrapage technologique selon les zones de pays
<b>Tableau 2</b>	Pourcentages des cas de rattrapage tendanciel vers la frontière
<b>Tableau 3</b>	Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays, 1965-2010
<b>Tableau 4</b>	Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays, 1965-1969
<b>Tableau 5</b>	Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays, 1975-1994
<b>Tableau 6</b>	Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays, 2000-2010
<b>Tableau 7</b>	Estimations du paramètre de rattrapage technologique conditionnel selon les zones de pays, 1965-2010
<b>Tableau 8</b>	Estimations du paramètre de convergence structurelle conditionnel selon les zones de pays, 1965-2010



## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

L'importance de la productivité comme déterminant de l'évolution à long terme du niveau de vie de chaque économie en fait un indicateur privilégié de comparaison internationale et plus particulièrement un facteur explicatif des disparités des revenus par tête entre les pays. Dès Adam Smith (1776), ce concept de productivité est perçu comme le facteur clé de l'enrichissement et de la compétitivité des nations via la baisse des prix relatifs des produits et la meilleure profitabilité des firmes. C'est pourquoi, en période de crise comme celle qui a débuté en 2008, il convient de se préoccuper de son ralentissement et de l'évolution des écarts entre les pays pour mieux en appréhender les impacts à venir sur les niveaux de vie des populations.

A cet égard, la comparaison des pays de la zone euro aux autres pays de l'OCDE permet de constater plusieurs phénomènes importants. Depuis la dernière crise des subprimes en termes de revenu par tête, la zone euro s'appauvrit alors que les autres pays développés continuent à progresser. En effet, sur la période 2008-2015, le taux de croissance annuel moyen du PIB par tête du premier groupe s'établit à -0.34% nettement en dessous de la performance de l'autre groupe qui s'élève à 0.63%. De plus sur cette même période, les écarts de cet indicateur entre les pays membres de l'Union Monétaire se creusent. Alors qu'ils n'avaient cessé de se réduire jusqu'à la fin des années 1990 pour ensuite stagner entre 2000 et 2008 à un niveau nettement inférieur à celui prévalant entre les autres pays de l'OCDE. A partir de 2008, ces écarts s'accroissent significativement au point de dépasser depuis 2012 la dispersion des niveaux de vie observée au sein d'un groupe d'autres pays de niveau de développement similaire mais ne partageant pas de monnaie commune.

Ces faits sont-ils reliés aux dynamiques des productivités globales des facteurs de production (PGF) ? Plus particulièrement pour la zone euro, la rupture de convergence des niveaux de vie constatée au cours des années 2000 et leur divergence au cours des années plus récentes s'expliquent-elles par des dynamiques similaires sur les indicateurs de productivité ? Enfin, ces phénomènes structurels sont-ils reliés ou non aux contraintes imposées par le cadre d'appartenance à une zone monétaire ?

En 1992, la signature du traité de Maastricht constitue un ensemble de pays de l'Union Européenne en une union monétaire. Cette étape de l'histoire monétaire et économique de l'Europe repose sur la conviction qu'une nouvelle avancée vers plus d'intégration conduirait vers une économie plus efficiente. A la faveur de la théorie de la zone monétaire optimale, les pays membres en tireraient le meilleur parti en termes de compétitivité, de mobilité des capitaux et d'allocation des ressources (Mundell, 1961 ; Krugman, 1993 ; Frankel et Rose, 1998). Dans le traité de Maastricht (1992), l'objectif de l'Union est de permettre aux pays de promouvoir un haut degré de convergence des performances économiques (article 2) ; à assurer une convergence durable, nécessaire (article 109E) et soutenue (article 103). Cette convergence visera « le relèvement du niveau et de la qualité de vie entre les Etats membres » (article.2), en prenant les mesures qui permettent aux régions périphériques « de rattraper le niveau économique et social moyen de la communauté ».

Cet objectif de convergence économique entre les pays membres de la zone euro est visé par un ensemble de quatre critères consignés dans l'article 109J du traité de Maastricht définissant : la stabilité des prix, du taux de change, la limitation du déficit et de la dette publics et du taux d'intérêt de long terme. Le respect des critères de Maastricht comme condition préalable à l'adhésion à la zone euro assure une convergence monétaire et fiscale dont l'interaction produirait une convergence des niveaux de vie et de la productivité ainsi que cela est communément accepté et exprimé clairement par Carré (1997): «*These criteria were elaborated in order for potential members to face a monetary union with similar structures, compatible with a common economic policy...Under this assumption, nominal convergence will lead to real convergence among European countries*<sup>1</sup>». Ce lien présupposé, était déjà présent dans les discussions théoriques avant la création de la zone euro (Barro et Gordon, 1983 ; Bhagwati, 1984) et devient une réelle problématique théorique de la relation entre la convergence nominale et la convergence réelle après la création de l'Union Monétaire Européenne (UME). En effet, le rapport Delors, manuel de la création de l'union monétaire et économique, préconise: « *Parallel advancement in economic and monetary integration would be indispensable, in order to avoid imbalances which could cause economic*

---

<sup>1</sup> Carré, M. (1997), P.77

---

*strains and loss of political support for developing the Community further into an economic and monetary union*<sup>2</sup>». Ce lien systémique bidirectionnel est contesté par certains peu après le traité de Maastricht (De Grauwe, 1995 ; Buitier, 1993) et continue de l'être après la mise en œuvre de la monnaie unique (De Grauwe, 2003 ; Buitier, 2005 ; Leeper et Walker, 2011). Qu'elle soit examinée sous son angle nominal ou réel, la convergence économique est au cœur de la survie de la zone euro. Comme évoqué plus haut, il est alors paradoxal de constater que dès la mise en place de la monnaie unique, les mouvements de convergence des niveaux de vie et de productivité entre pays membres se sont interrompus pour diverger ensuite.

En effet, la suppression des taux de change s'accompagne d'une plus grande transparence des prix. A terme, cette dernière doit aboutir à une convergence des prix des marchandises et des coûts des facteurs de production entre les différentes économies de l'Union. Puisqu'à l'intérieur de cette zone il n'y a plus de possibilité de recourir aux instruments d'ajustements nominaux, telle que la dévaluation, les écarts de taux d'intérêt ou de prix, pour faire face aux différences de compétitivité. Il en résulte une pression sur l'emploi qui peut se traduire, à terme, par une augmentation du chômage dans les secteurs de biens échangeables les moins compétitifs. Or les marchés du travail des différentes nations semblent peu connectés du fait de la faible mobilité géographique et des différences culturelles ou linguistiques des chercheurs d'emploi. Le recours ne pourrait se trouver que dans des politiques de transferts budgétaires des régions les plus prospères vers les régions les plus pauvres ou moins productives. Dans le cas contraire, la convergence des productivités apparaît alors comme indicateur crucial pour prévenir l'instabilité et garantir le maintien de cette zone monétaire. Mais force est de constater que depuis le début des années 2000, nous n'assistons plus à une convergence des performances productives entre les pays de l'Euroland et comparativement aux autres pays industrialisés.

Les diverses causes de la divergence de la productivité évoquées dans les études empiriques pourraient se regrouper autour de trois axes :

---

<sup>2</sup> Delors et al. (1996), P.28

---

- La faible qualité du progrès technique incorporé, avec un capital physique à faible taux d'accumulation. A la différence des USA qui ont su valoriser les nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'UE est restée trop longtemps en retrait, préférant conserver un outil vieillissant et peu compétitif. Le taux d'investissement est lui-même resté bas comparé à celui des USA (Gordon, 2004 ; Wilson, 2009 ; Timmer et Van Ark, 2005). L'UE aurait une réelle difficulté à exploiter le potentiel de productivité des nouvelles technologies (Van Ark et Inklaar, 2005 ; Van Ark et Piatkowski, 2004).

- Le faible niveau de qualification et la mauvaise allocation du facteur travail (European commission, 2002 ; Krueger et Kumar, 2003) que connaît l'UE freinent l'adoption de nouvelles technologies et limitent les gains de productivité. Si l'éducation, entendue comme le niveau de scolarisation qui prépare la future main d'œuvre, la formation spécifique par l'acquisition d'un vrai savoir-faire « learning by doing » rend plus apte à l'utilisation des nouvelles technologies. Le niveau de qualification des travailleurs en Europe n'a pas su s'harmoniser avec l'arrivée des nouveaux outils de travail en l'occurrence l'informatisation progressive des nouveaux services. Ce gap de qualification aurait conduit à une mauvaise allocation de la ressource humaine (Bartelsman et al, 2013 ; European commission, 2002). Le renouvellement du capital physique et même humain aurait été peu soutenu par du financement public via les subsides alloués à la R&D et à l'innovation (Ortega-Argilés et al., 2011).

- Le faible développement du secteur des services (European commission, 1993, Gordon et Dew-Becker, 2005 ; Turner et Boulhol, 2008) notamment pour ceux qui recourent aux outils informatiques et au numérique. Alors que la productivité du travail connaît un ralentissement dans les autres au cours des années 1990, celle du secteur des services qui amorce une accélération (O'Mahony et al, 2010) souffre cependant de barrières à l'entrée.

Le « miracle de la productivité » (Bloom et al, 2007) que vivent les Etats-Unis au cours des années 1990 tiendrait non seulement à l'utilisation des nouvelles technologies de l'informatique, mais aussi l'organisation du management des firmes et l'avantage naturel que représente l'environnement des USA : un marché concurrentiel, une faible régulation, un meilleur accès au capital-risque risqué, une meilleure éducation et une main d'œuvre jeune, un marché de grande taille, un grand espace géographique et bien d'autres facteurs. C'est à la faveur de cet ensemble de cofacteurs que le taux de croissance de la PGF des USA s'est

---

accru, provoquant sa divergence avec l'UE. En effet, presque dix ans après la mise en œuvre de l'Euro, les experts de la commission Européenne affirment que « *The bulk of the Euro-area productivity growth gap is due to a divergence in Total Factor Productivity* <sup>3</sup> ».

Ce concept de PGF qui mesure la croissance de la production non expliquée par les variations des facteurs de production, regroupe des composantes de l'environnement social, institutionnel, politique, économique, et même géographique ... Dès lors, son examen permet d'apprécier et de comparer les performances productives des économies au sein de l'UME avec celles des autres pays.

Dans ce contexte, l'objectif général de notre travail est de comparer la dynamique sur longue période des PGF des pays de la zone euro à celle d'un ensemble de pays dénommé « autres OCDE ». Cet objectif est subordonné à deux objectifs plus spécifiques. Le premier vise à analyser les gains de productivité à partir de l'approche paramétrique par la méthode des frontières stochastiques et d'examiner la  $\sigma$ -convergence absolue des PGF des deux zones. Le second examine les évolutions des inefficacités techniques et structurelles qui sont les sous-jacents des dynamiques de la PGF. Le concept d'inefficacité technique est ici défini comme l'écart d'un pays à sa frontière de production elle-même représentée par les performances productives des économies leaders. Quant à l'inefficacité structurelle, elle résulte de l'hétérogénéité des combinaisons productives comme par exemple le ratio K/L. La  $\beta$ -convergence de ces deux processus est testée conditionnellement à diverses variables que la littérature retient habituellement comme explicatives d'un processus de convergence réelle entre économies.

Parallèlement à ces objectifs, notre contribution méthodologique est double. Premièrement, nos estimations de la PGF reposent sur l'existence éventuelle d'inefficacités productives. En effet, par rapport aux estimations standards comme celles relevant des approches comptables de la croissance via les indices du type Törnqvist ou des approches économétriques, nous remettons en cause l'hypothèse que toutes les économies se situent a priori sur une même frontière de production. En considérant des leviers microéconomiques

---

<sup>3</sup> Euroepan commission (2008), P.167

---

de la PGF, une approche de la croissance, s'intéressant aux phénomènes de rattrapage ou de divergence des niveaux technologiques entre les nations, a renouvelé un certain intérêt pour le paradigme ricardien. Pour expliquer les échanges entre les nations, le modèle de Ricardo s'appuie sur les différences persistantes de productivité révélant les avantages comparatifs sources d'échanges. De plus, avec le développement du commerce international intra branche entre pays similaires, les rendements à l'échelle croissants internes et externes, les différenciations verticales des produits ne militent plus en faveur de l'hypothèse d'une adoption instantanée de technologies identiques par tous les partenaires. Par exemple, dans sa comparaison internationale des niveaux de productivité, Dale Jorgenson écrit en 1995 : « *One of the critical assumptions of the Heckscher-Ohlin theory is that technologies are identical across countries. That is a very appealing assumption, since it has been difficult to find rationale for failures of countries to achieve the same level of technical sophistication. However, data on relative productivity levels for German, Japanese, and U.S. industries ... reveal that the assumption of identical technologies is untenable<sup>4</sup>* ». Durlauf et Johnson (1995), dans leur analyse de la convergence, aboutissent à cette même conclusion : à savoir que cette hypothèse d'homogénéité des technologies ne peut être retenue. Ils suggèrent que les modèles de croissance internationaux doivent incorporer explicitement des possibilités d'écart de performances productives. Cette problématique de l'hétérogénéité technologique et de sa mesure peut donc se relier à celle de l'analyse et à la mesure de l'inefficacité productive.

La deuxième contribution est de développer des instruments de mesure de la performance productive qui prennent en compte simultanément les deux processus de convergence à l'œuvre dans la croissance économique. Rappelons brièvement que dans l'hypothèse initiale du modèle de Solow, les rendements décroissants du capital font que les pays les plus pauvres croissent plus vite que les pays les plus riches pour atteindre à terme un même niveau d'intensité du capital. Cependant, la diffusion et le transfert technologiques en provenance des pays plus avancés accélèrent la croissance de la PGF des nations technologiquement moins avancées et donc influencent leur revenu par tête. Bien sûr, ces deux processus sont

---

<sup>4</sup> Jorgenson (1995), P. 25

interdépendants alors que dans la littérature empirique ils ont été plus généralement abordés de manière séparée. En fait, la théorie standard du commerce international s'était davantage préoccupée de la mobilité du capital que de la diffusion technologique. Bien que Solow (1994) explique que c'était une simplification nécessaire en son temps, il insiste sur le fait qu'il faut désormais dépasser le cadre de cette hypothèse et s'intéresser au rôle de la diffusion technologique et de ses fondements microéconomiques comme facteur de croissance et de convergence (Henderson et Russell, 2005 ; Kumar et Russell, 2002). Dans cette perspective, en nous appuyant sur les avancées récentes des fonctions distance directionnelle, nous développons un modèle d'activités non paramétrique permettant d'intégrer dans l'analyse des processus de convergence réelle à la fois une composante technique relevant essentiellement des écarts technologiques entre les nations et une composante structurelle davantage liée aux rendements marginaux décroissants des facteurs de production.

Sur le plan empirique, nous nous référons à la base de données « Annual Macro-economic Database of the European Commission » (AMECO) sur la période 1965-2015 pour examiner les évolutions de long terme de la PGF de 11 pays de la zone euro (Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, Finlande, France, Grèce, Italie, Pays-Bas, Portugal) et 11 pays de « autres l'OCDE » (Australie, Canada, Danemark, Etats-Unis, Japon, Norvège, Nouvelle-Zélande, Royaume-Uni, Suède, Suisse).

La thèse comporte quatre chapitres. Les deux premiers exposent une revue de littérature théorique et empirique, afin de mieux mettre en lumière l'évolution des contributions méthodologiques et factuelles de l'analyse de la convergence des productivités. Les deux derniers chapitres développent des modèles d'activités reposant sur les notions de frontières de production stochastiques et de fonctions distance directionnelles non paramétriques pour estimer les évolutions de la PGF des pays développés. Ceci afin de comparer les processus de convergence réelle à l'œuvre au sein des économies de la zone euro et des autres pays industrialisés.

Le premier chapitre aborde la convergence sous l'hypothèse de la seule accumulation du capital. Il part du modèle de Solow comme introduction aux différentes formes de tests empiriques de la convergence. A partir du modèle de Solow (1956) et Swan (1956), l'approche néoclassique prédit la convergence des économies vers un même état régulier. Considérant

---

un progrès technique exogène et à la faveur de l'hypothèse des rendements marginaux décroissants, le modèle montre que les pays les plus pauvres ont des taux de croissance plus élevés que ceux des économies mieux dotées en capital. L'engouement des chercheurs à tester cette prédiction conduit à une large typologie des concepts et des méthodes d'estimation. Les tests usuels de  $\sigma$ -convergence et  $\beta$ -convergence absolues ou conditionnelles sont abordés.

Le chapitre II traite de la convergence de la PGF comme un mécanisme de catching-up technologique. Dans l'analyse de la convergence réelle, le débat théorique conclut à l'intérêt d'intégrer les écarts technologiques entre pays par leurs différentiels de PGF en complément de l'accumulation du capital. Elle permettrait de mieux prendre en compte les innovations et les transferts de technologies. De plus, le caractère endogène du progrès technique lui confère une propriété motrice dans l'acquisition des social capabilities (Abramovitz, 1986), plus à même d'expliquer les gaps technologiques et les potentiels de rattrapage. Les mécanismes d'innovation et d'adoption-imitation techniques induisent des changements qui affectent les positions des économies les unes par rapport aux autres. Les leaders qui bénéficient des meilleures pratiques précèdent les pays followers capables ou non de résorber leurs écarts technologiques grâce à un phénomène appelé rattrapage ou catching-up. Cependant, dépassant l'hypothèse forte de l'optimalité de toutes les entités de production, elle prend en compte d'éventuelles inefficacités techniques et/ou allocatives inhérentes à toute production. En effet, si les choix productifs des économies souffrent d'inefficacités dites techniques, d'échelle et allocatives et que ces inefficacités sont liées notamment à des contextes socio-institutionnels différents, ils doivent impacter les potentiels de croissance des économies. Dans cette perspective, la convergence réelle se caractérise alors comme un phénomène complexe comportant à la fois un rattrapage technologique (résorption des inefficacités productives) et un effet capital deepening (convergence des combinaisons productives) entre les pays.

Au cours du chapitre III, nous développons une approche paramétrique et stochastique pour estimer la frontière de production de notre échantillon. A partir de la méthode du « *time varying effect* » proposé par Cornwell, Schmidt et Sickles (1990) nous estimons une frontière de production translog. Par rapport à la spécification Cobb-Douglas, le choix du modèle translog nous affranchit de l'hypothèse d'élasticités de la production constantes vis-à-vis des

facteurs (capital et travail). Dans cette approche, nous intégrons explicitement une composante d'inefficacité via une modélisation généralisée des effets spécifiques pays pouvant varier dans le temps. L'estimation d'un tel modèle en données de panel sur longue période permet l'analyse du rattrapage technologique et de la convergence/divergence au sein des deux zones étudiées (zone euro et « autres OCDE »).

Enfin, le Chapitre IV étudie le processus de convergence avec les fonctions distances directionnelles non paramétriques. Nous estimons des scores robustes d'inefficacité par pays et par année grâce à de nombreux sous-échantillons. Cette approche robuste contourne le risque de biais dues à d'éventuelles observations extrêmes (outliers) particulièrement inhérent à ce type de méthodes (Kneip et al., 2008). Notre modèle d'activité montre comment l'inefficacité globale d'un groupe de pays peut se décomposer en deux termes : l'inefficacité technique et l'inefficacité structurelle. Puis mobilisant la méthode DEA (Charnes et al., 1978) basée sur la programmation linéaire, nous estimons ces deux composantes. Leurs évolutions respectives sur longue période permettent d'apprécier à la fois la réduction des inefficacités techniques comme traduction du rattrapage technologique et de la diminution des inefficacités structurelles illustrant l'homogénéisation des combinaisons productives des économies. Dans une deuxième étape, les variations chronologiques de ces inefficacités sont régressées par rapport à leurs niveaux initiaux et à un jeu de variables liées aux politiques budgétaires et monétaires des économies étudiées afin d'établir ou non les conditionnalités des processus de rattrapage technologique et de convergence structurelle à l'appartenance à la zone euro.

## BIBLIOGRAPHIE DE L'INTRODUCTION GÉNÉRALE

- Abramovitz, M. (1986). catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. *The Journal of Economic History* vo.46 No 2, 385-406.
- Barro, R., et Gordon, D. (1983). Rules, Discretion and Reputation in a Model o Monetary Policy. *Journal of Monetary Economics*,12, 101-121.
- Bartelsman, E., Haltiwanger, J., et Scarpetta, S. (2013). Cross-Country Differences in Productivity: The Role of Allocation and Selection. *American Economic Review* 103(1), 305–334.
- Bhagwati, J. (1984). Why Services Are Cheaper in the Poor Countries? . *The Economic Journal*, 394, 279-286.
- Bloom, N., Sadun, R., et Van Reenen, J. (2012). Americans Do IT Better: US Multinationals and the Productivity Miracle. *American Economic Review* 102(1), 167–201.
- Buiter, W. H. (1993). Excessive Deficits: Sense and Nonsense in the Treaty of Maastricht . *Economic Policy*, vol.8 No. 16, 57-100.
- Buiter, W. H. (2005). The 'Sense and Nonsense of Maastricht' revisited: What have we learnt about stabilization in EMU? . *CEPR Discussion Paper No. 5405*.
- Carre, M. (1997) European Nominal and Real Convergence: Joint Process or Rival Dynamics? *Review of International Economics*, vol.5, issue (5), PP 77-91
- Cornwell, C., Schmidt, P., et Stickles, R. (1990). Production Frontier with Cross Sectional and Time Series Variation in Efficiency Levels. *Journal of Econometrics* (46), 185-200.
- De Grauwe, P. (1995). Europe between Exchange Rate Flexibility and Monetary Union: Alternative strategies towards monetary union . . *European Economic Review* 39, 483-491.
- De Grauwe, P. (2003). *The stability and growth pact in need of reform*. Bruxelles: University of Leuven.
- Delors, J. et al. (1989) *Report on economic and monetary union in the European Community*, Committee for The Study of Economic and Monetary Union; Jacques Delors (Chairman)
- Durlauf, S., et Johnson, P. (1995). Multiple regimes and cross-country growth behaviour. *Journal of Applied Econometrics* 10, 365-84.
- European-Comission. (2002). European competitiveness report: competitiveness and benchmarking. *European Community*.
- European-Comission. (2002). European competitiveness report: competitiveness and benchmarking. *European Community*.
- Frankel, J., et Rose, A. (1998). The Endogeneity of the Optimum currency area criteria. *The Economic Journal*, 108, 1009-1025.
- Gordon, R. J. (2004). Two Centuries of Economic Growth: Europe Chasing the American Frontier. *NBER-Working Paper 10662*.

- Gordon, R., et Dew-Becker, I. (2005). Where Did the Productivity Growth Go? Inflation Dynamics and the Distribution of Income. *NBER Working Paper No. 11842*.
- Henderson, D., et Russell, R. (2005). Human Capital and Convergence: A Production-Frontier Approach. *International Economic Review*, 46(4), 1167-1205.
- Jorgenson, D. (1995). *Productivity: Post-War US Economic Growth*. Cambridge: MIT Press.
- Kneip, A., Simar, L., et Wilson, P. (2008). Asymptotics and consistent bootstraps for DEA estimators in non-parametric frontier model. *Econometric Theory* 24, 1663–1697.
- Krueger, D., et Kumar, K. (2003). Skill-specific rather than General Education: A Reason for US-Europe Growth Differences? *NBER Working Paper No. 9408*.
- Krugman, P. (1993). Lessons of Massachusetts for EMU. Dans F. T. G., *Adjustment and Growth in the European Monetary Union*. London: Cambridge University Press.
- Kumar, S., et Russell, R. (2002). 2002. Technological Change, Technological Catch-up, and Capital Deepening: Relative Contributions to Growth and Convergence., . *American Economic Review*, 92(3), 527-548.
- Leeper, E., et Walker, T. (2011). Fiscal Limits in Advanced Economies. . *The Economic Society of Australia, Economic Papers*, vol. 30, NO. 1, 33–47.
- Mundell, R. (1961). A theory of Optimum Currency Areas. *The American Economic Review*, 657-665.
- O'Mahony, M., Rincon-Aznar, A., et Robinson, C. (2010). Productivity Growth in Europe and the US: a Sectoral Study. *Review of Economics and Institutions*, Vo.1 No.1 Spring 2010.
- Ortega-Argils, R., Piva, M., et Vivarelli, M. (2011). The Transatlantic Productivity Gap: Is R&D the Main culprit? *Institut de Recerca en Economia Aplicada Regional i Publica, Document de Treball 2011/03*.
- Smith, A. (1776) *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, volume I Indianapolis, LibertyClassics edition of 1981,
- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, No. 3, 312-320.
- Solow, R. (1994). Perspectives on Growth Theory. *Journal of Economic Perspectives* 8(1), 45-54.
- Swan, T. (1956). Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record* 32, 334–61.
- Timmer, M., et Van Ark, B. (2005). IT in the European Union: A driver of Productivity Divergence? *Oxford Economic Papers*, vol.57, No.4, 693-716.
- Turner, L., et Boulhol, H. (2008). Recent Trends and Structural Breaks in US and EU15 Labour Productivity Growth. *OECD Economics Department Working Papers* 628.
- Van Ark, B. (2004). Productivity, Innovation and ICT in Old and New Europe. *International Economics and Economic Policy*, Vol.1, Issue 2, 2015-246.

Van Ark, B., et Inklaar. (2005). Catching Up or Getting Stuck? Europe's Trouble to Exploit ICT's Productivity Potential. *Research Memorandum GD-79*.

Wilson, D. (2009). IT and Beyond: The Contribution of the Heterogenous Capital to Productivity. *Journal of Business and Economic Statistics* 27, 52-70.

---

**CHAPITRE I**

**LA CONVERGENCE DE LA PRODUCTIVITE DU TRAVAIL**

**PAR ACCUMULATION DU CAPITAL :**

**LE MODELE NEOCLASSIQUE DE SOLOW ET SWAN**

## INTRODUCTION

L'apport du concept de convergence à la question de la différence persistante entre les taux de croissance des économies ou celle des niveaux de vie entre pays trouve dans les travaux de Solow (1956) et Swan (1956) un cadre de formalisation. A partir des hypothèses d'une technologie de production caractérisée par des productivités marginales décroissantes, des rendements d'échelle constants, et d'un progrès technique gratuit et accessible ; les premiers travaux de la théorie néoclassique prédisent l'existence d'un sentier d'expansion qui conduit à long terme vers l'équilibre. Ainsi, les différences entre les niveaux de vie des pays sont transitoires dès lors que ceux-ci ont la même technologie et partagent des préférences d'épargne et de taux de croissance démographique (Barro et Sala-i-Martin, 1992 ; Bernard et Durlauf, 1996).

La convergence qui semble énoncée comme une prédiction automatique éveille l'intérêt des chercheurs (Islam, 2003 ; Rassekh, 1998<sup>5</sup>) qui tenteront de la valider ou de l'invalider en la confrontant aux faits économiques. Il en résulte une multitude d'approches qui, selon Bernard et Durlauf (1996) se distingue en fonction de la définition de la convergence, du modèle d'approche de la croissance économique et de la méthode d'estimation économétrique utilisée. En soixante ans, la convergence demeure un sujet attrayant, tant elle exprime un certain optimisme quant à la résorption des écarts de niveau de vie entre économies riches et pauvres.

En partant du modèle de Solow, ce chapitre vise à présenter la mécanique économique de la convergence selon l'approche néoclassique et comment progressivement celle-ci a évolué en fonction de l'exogénéité ou de l'endogénéité des variables dans les analyses économétriques. L'ambition est moins de faire une revue englobante de la littérature que d'exposer comment d'absolue, la convergence est approchée comme inconditionnelle puis conditionnelle aux effets

---

<sup>5</sup> Pour une revue plus détaillée de la littérature sur la convergence, voir par exemple Islam (2003) ou Rassekh, (1998); Felipe et McCombie (2005)

---

spécifiques et progrès technique. Révélée par la beta ou la sigma convergence, la réduction des écarts de niveau de vie ou de productivité du travail reste cependant principalement expliquée par l'accumulation du capital.

## **Section 1 - La contribution de Solow : l'approche néoclassique de la convergence**

En 1956, deux économistes (Swan, 1956 et Solow, 1956) publient leur article respectif comme contribution à la théorie de la croissance. Leur travail prendra le nom de modèle Solow-Swan, plus communément connu sous le nom de modèle de Solow. Dès 1957, Solow publie un autre article et par ses nombreux travaux théoriques et empiriques en économie, obtient en 1987 le prix Nobel d'économie.

L'article de Solow participe à apporter un éclairage qui constitue le matériau de base de la théorie néoclassique de la croissance. Plus précisément, il insiste sur les rôles de l'accumulation du capital et du progrès technique dans le processus d'amélioration du niveau de vie, tout en permettant la compréhension du mécanisme de convergence des économies. En 1957, sa contribution permet de mieux expliquer comment les niveaux de productivité de chacun des facteurs (capital et travail) sont à eux seuls insuffisants pour comparer les évolutions de différentes économies. L'amélioration du progrès technique et sa diffusion constituent comme des facteurs essentiels qui concourent à la réduction des écarts de productivités et au rapprochement des économies au cours du temps.

Ces deux articles engendrent une vaste littérature économique : des manuels, des articles scientifiques et du matériel pédagogique abondent de présentation diverses et complexes que certains auteurs se sont employés à synthétiser tout en reconnaissant les limites de leurs efforts (Solow, 2001 ; Jones, 2013 ; Barro et Sala-i-Martin, 2004 ; Acemoglu, 2009).

A long terme, quels sont les déterminants de l'économie et quels états structurants produisent-ils ? Ce sont entre autres les questions auxquelles la contribution de Solow (1956) répond. En deux étapes le modèle montre comment le progrès technique affecte la croissance et conditionne les écarts de niveaux de vie entre les économies des pays.

## 1.1 - Le modèle simple : croissance et convergence sans progrès technique

L'auteur commence par évoquer la nécessité du recours à un corpus d'hypothèses qui détermine l'environnement de validation du modèle.

### 1.1.1 Le corpus d'hypothèse du modèle du Solow

Le modèle de Solow présente la croissance comme un phénomène dynamique conduisant les taux de croissance de l'économie, celui du capital et de l'épargne vers un équilibre de long terme, jugé stable.

#### a) *Les ménages et la population*

Le raisonnement se fait en économie fermée, où les ménages sont nombreux et similaires. Aussi, leur comportement peut-il s'assimiler à celui d'un ménage représentatif. Les ménages procurent la main d'œuvre nécessaire à la production. Puisque l'économie est supposée être en plein emploi, toute la population active disponible est embauchée et supposée croître au taux démographique, noté  $n$ . Celui-ci est exogène, indépendant du système, de telle manière qu'à chaque instant  $t$ , la population active, notée  $L_{(t)}$  est une offre inélastique dans l'économie et s'écrit :

$$L_{(t)} = L_0 e^{nt} \quad (1)$$

La productivité de la main d'œuvre dépend du stock de capital  $K_{(t)}$  disponible, entièrement détenu par les ménages. Ceux-ci, avec leur revenu déterminé par l'unique bien produit dans cette économie notée  $Y_{(t)}$ , consomment et épargnent. Le taux d'épargne  $s$ , supposé constant et exogène, permet un volume d'épargne  $S_{(t)}$  :

$$S_{(t)} = sY_{(t)} \quad (2)$$

Ainsi la consommation  $C_{(t)}$  peut s'en déduire telle que  $C_{(t)} = (1-s)Y_{(t)}$ ; étant donné que le raisonnement se fait en économie fermée, hors dépenses publiques. Le revenu se répartit entre consommation et investissement, tel que :

$$Y_{(t)} = C_{(t)} + I_{(t)} \quad (3)$$

Toute l'épargne étant supposée consacrée à l'investissement, elle peut donc être mise en relation avec le revenu à partir de l'équation de l'épargne  $S_{(t)}$  :

$$I_{(t)} = S_{(t)} = sY_{(t)} \quad (4)$$

Partant du niveau de capital initial  $K_{(0)}$  détenu par les ménages ; toute nouvelle acquisition vient accroître un capital dont une partie a été dépréciée au taux  $\delta$  du fait de sa précédente utilisation. Le taux  $\delta$  est supposé avoir la forme exponentielle. De sorte qu'au temps  $t+1$ , le nouveau stock de capital noté  $K_{(t+1)}$  devient :

$$K_{(t+1)} = (1-\delta)K_{(t)} + I_{(t)} \quad (5)$$

### **b) Les firmes et la production**

A l'instar des ménages, les firmes sont nombreuses mais supposées avoir la même technologie de production, de telle sorte qu'une firme représentative suffit à satisfaire aux exigences de la production du seul bien, au moyen de deux facteurs,  $K_{(t)}$ , et  $L_{(t)}$  :

$$Y_{(t)} = F[K_{(t)}, L_{(t)}] \quad (6)$$

Tel qu'à un moment  $t$  du temps,  $Y_{(t)}$  représente la quantité de biens produits,  $K_{(t)}$ , le stock de capital,  $L_{(t)}$ , la main-d'œuvre totale,  $F(.)$  la notation mathématique de la relation causale entre ressources et le résultat du processus de production.

Toutes les firmes sont supposées partager la même technologie. En effet, Solow fait l'hypothèse que la technologie, une fois inventée, tombe dans une sorte de panier public qui en fait un bien à la portée de tous. La technologie est donc un réel bien public, revêtu des caractéristiques de non-exclusion et de non-rivalité : d'une part la consommation du bien par un agent n'exclut pas qu'un autre puisse y accéder, et d'autre part aucun agent n'est exclu de son utilisation.

La fonction de production du modèle de Solow est contrainte dans certaines caractéristiques fondamentales :

- Premièrement, le processus de production ne peut se concevoir qu'avec des ressources (K, L) positives dont on attend un produit (Y) positif. Les facteurs de production sont

parfaitement substituables ; hypothèse par laquelle Solow entend marquer une forte différence avec Harrod (1939) et Domar (1946, 1947).

- Deuxièmement, la fonction de production est continue et dérivable en tout point ; c'est-à-dire que le processus de production représenté par la fonction s'accommode de toute variation, ainsi infime soit-elle de l'un quelconque des facteurs et donne un produit aussi variable. Par cette caractéristique, la fonction de production néoclassique utilisée par Solow se prête aux différentes opérations mathématiques.
- Troisièmement, le niveau de la production croît avec celle des moyens utilisés pour l'obtenir, on dit que la fonction possède une productivité marginale positive.
- Quatrièmement, bien qu'ayant une productivité marginale positive, cette fonction suppose qu'aux variations des facteurs de production correspondent des variations de moins en moins importantes du volume produit ; cette caractéristique de la productivité marginale décroissante est également considérée comme une propriété de rendement marginal décroissant.
- Cinquièmement, le modèle de Solow suppose que toute variation proportionnelle des facteurs génère une variation identique de la production, les rendements d'échelle sont donc constants.
- Trois hypothèses complémentaires finissent de définir l'environnement de la firme.

- La production est entièrement épuisée dans la rémunération des facteurs :

$$pY = w_L L + r_k K$$

où  $w_{(t)}$  représente la rémunération du travail et  $r_{(t)}$  celle du capital. Et les firmes maximisent leur profit à la condition d'égalité des rémunérations des facteurs à leur productivité marginale en valeur ; tel que :

$$w_{(t)} = pF'_L[K_{(t)}, L_{(t)}] = pP_{mL} ; \text{ Avec } P_{mL} : \text{ Productivité marginale du travail}$$

$$r_{(t)} = pF'_K[K_{(t)}, L_{(t)}] = pP_{mK} ; \text{ Avec } P_{mK} : \text{ Productivité marginale du capital}$$

- Ensuite, l'hypothèse que la fonction de production répond aux conditions dites d'*Inada* à savoir :  $\lim_{K \rightarrow 0} (F'_k) = \lim_{L \rightarrow 0} (F'_L) = \infty$  et  $\lim_{K \rightarrow \infty} (F'_k) = \lim_{L \rightarrow \infty} (F'_L) = 0$ . Ces conditions assurent la forme concave de la fonction de production et signifient que les productivités des premières unités de capital et de travail sont plus

grandes, mais à mesure que les dotations en facteurs de production sont abondantes, leur productivité tend vers zéro.

- Enfin, l'univers néoclassique est celui de la concurrence pure parfaite. Les ménages et les firmes sont si nombreux que le comportement d'aucun ne peut affecter à lui seul les marchés. Ainsi les agents sont dits « *price takers* »

La logique du modèle de Solow repose sur ce corpus d'hypothèses et les  $n$ ,  $s$ , et  $\delta$  paramètres exogènes qui constituent les conditions de réalisation de l'équilibre à partir d'une loi fondamentale régissant la relation dynamique entre les variables  $Y_{(t)}$  et  $K_{(t)}$ ; étant donné  $L_{(t)}$ , à chaque moment du temps.

### 1.1.2 La loi fondamentale de l'accumulation du capital

L'intérêt du modèle de Solow est d'inscrire la croissance dans une dynamique de long terme portée par l'accumulation du capital. Parce qu'il ne peut y avoir ni production ni consommation sans capital ; d'où proviendrait la dotation initiale de capital qui enclenche le processus ? La réponse, selon Solow, est à rechercher dans un minimum de capital, même infinitésimal, tombant du ciel comme une sorte de manne.

A partir d'un niveau de capital initial  $K_{(t_0)}$ , le mouvement de l'accumulation s'enclenche suivant l'équation (5), telle que :  $K_{(t+1)} = (1 - \delta)K_{(t)}$ . En remplaçant  $l_{(t)}$  par sa valeur en (4) ; on obtient l'accumulation du capital en fonction de la production  $K_{(t+1)} = (1 - \delta)K_{(t)} + sY_{(t)}$ . Donnant à  $Y_{(t)}$  sa valeur en (6) on obtient l'équation dénommée loi fondamentale du mouvement du modèle de Solow :

$$K_{(t+1)} = sF[K_{(t)}, L_{(t)}] + (1 - \delta)K_{(t)} \quad (7)$$

Cette équation constitue celle de la logique de l'accumulation du capital au cours du temps. Sous cette forme descriptive l'équation de la loi du fondement de la croissance exprime comment l'accumulation de capital dépend à la fois de l'épargne, de la population et de la dépréciation suivant une technologie donnée.

En s'inscrivant dans l'approche de Harrod (1939) et Domar (1946, 1947), le modèle de Solow vise à prouver comment, sur le long terme, l'équilibre de l'économie est non seulement possible, mais aussi stable. L'équilibre se réalise si, à partir d'un stock de capital initial,  $K_{(0)}$  pour des

niveaux successifs de  $L_{(t)}$  donnés, il existe, dans un horizon infini, une séquence de stock de capital  $K_{(t)}$ ; de production,  $Y_{(t)}$ , de consommation  $C_{(t)}$ , de rémunération du travail  $w_{(t)}$  et du capital  $r_{(t)}$  tels que les conditions d'équilibre soient remplies sur chacun des marchés :

- Le marché des biens :  $Y_t = C_t + I_t$
- Le marché du travail :  $L_t = L_0 e^{nt}$
- Le marché du capital :  $K_t = sF(K_t, L_t) + (1 - \delta)K_0$
- Et les firmes maximisent leur profit tel que  $\left(\frac{w}{p}\right)_t = P_{mL}$  et  $\left(\frac{r}{p}\right)_t = P_{mK}$

En maintenant la population constante,  $L_{(t)} = L$  ; et en raisonnant hors progrès technique le modèle simple de Solow permet de se rendre compte de l'évolution de l'accumulation du capital par tête vers l'état régulier. Soit le capital effectif par tête noté :

$$k_{(t)} = \left( \frac{K_{(t)}}{L_{(t)}} \right) \quad (8)$$

En utilisant l'hypothèse des rendements constants de la fonction de production, le revenu *per capita* s'écrit :

$$y_t = \left( \frac{Y}{L} \right)_t \quad (9)$$

Ce qui s'écrit aussi :

$$y_t = F \left[ \left( \frac{K}{L} \right)_t, \left( \frac{L}{L} \right)_t \right] = F(k_t, 1) \approx F(k_t) \quad (10)$$

Cette nouvelle forme de la fonction de production par tête permet de trouver le stock de capital requis pour la période  $t+1$ , à partir de l'équation (10) tel que :

$$k_{t+1} = sF(k_t) - (n + \delta)k_t \quad (11)$$

A chaque unité de temps, l'accroissement du capital dépend du taux d'épargne, de la forme de la technologie de production, du niveau précédent de capital diminué de l'effet dépréciation.

Dans la perspective d'une évolution de la population au cours du temps,  $L_t = L_0 e^{nt}$ , l'équation (11) devient :

$$k_{t+1} = sf(k_t) - (n + \delta)k_t \quad (12)$$

Dans le point suivant, nous verrons comment l'économie évolue vers son niveau d'équilibre à mesure qu'elle accumule du capital et que croît sa population ?

### 1.1.3 La dynamique transitoire vers l'état régulier :

Même en admettant qu'il ne peut y avoir de production sans capital,  $f_0 = 0$  pour  $k_0 = 0$  ; aucune épargne ne se dégage, ce point aurait pu être considéré comme celui d'un équilibre ; mais tombant du ciel comme une sorte de « manne », une production permettant un minimum d'épargne peut être supposée, ceci explique un point  $f_0 = \varepsilon > 0$  ; l'équilibre en ce point est donc instable.

L'accumulation de capital est déclenchée à partir de cette production minimale. La fonction de production caractérisée par l'hypothèse des rendements d'échelle constants et des rendements marginaux décroissants, permet à tout moment de déterminer un niveau de consommation et d'investissement par tête correspondant, en fonction de la productivité du facteur travail utilisé. Ainsi l'investissement par tête peut s'accroître au fil du temps, mais cet investissement est de moins en moins productif. L'économie s'inscrit dans un chantier de croissance tel que l'illustre le graphique (*figure1*).

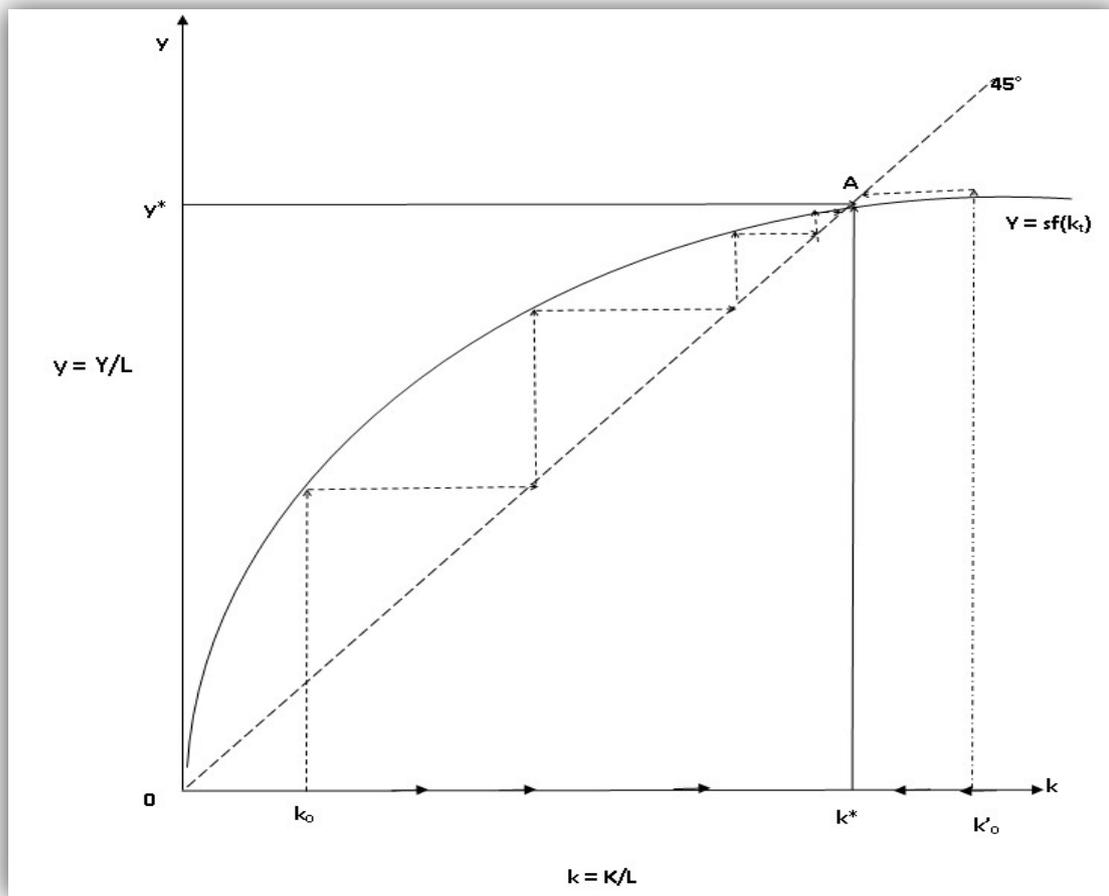
Le cadre du modèle est représenté d'une part par la courbe de la fonction de production agrégée telle que caractérisée précédemment. Sa forme est déterminée d'une part par le taux d'épargne ; et d'autre part la droite à 45° partant de l'origine, représentant le taux de croissance de l'emploi  $n$  et celui de la dépréciation  $\delta$ , supposés exogènes dans le modèle.

Cette représentation graphique du modèle appelle deux remarques :

*Primo*, Pour qu'il y ait accumulation de capital, il faut que la dépréciation du capital ( $\delta K_t$ ) soit inférieure ou égale au nouvel investissement de la période  $sf(k_t)$  ;

*Secundo* La présence du paramètre  $s$ , affectant la pente de la fonction de manière positive implique que la différence des comportements d'épargne d'un pays à l'autre expliquerait la différence de leur état stationnaire. En effet la pente de la fonction  $sf(k_t)$  dépend de  $s$ .

Figure 1 : le principe de l'accumulation du capital



Pour toute accumulation de capital  $k_{(t)} \in [0, k^*]$ , l'épargne réalisée excède l'épargne nécessaire à maintenir le niveau du capital constant, un nouvel investissement est donc nécessaire. L'accroissement du ratio capital-travail ou « *capital-deepening* » se modifie aussi longtemps que l'économie n'est pas rendue en  $k^*$ . A ce point, l'investissement est juste égal à l'épargne, et le niveau du stock de capital reste constant. En revanche, pour tout niveau de capital au-delà de  $k^*$ , soit  $k_{(t)} > k^*$ , l'épargne est moins que suffisante pour compenser la dépréciation du capital, le stock de capital se réduit et se fixe en  $k^*$ .

### 1.1.4 La stabilité de l'état régulier

Au point  $k^*$ , la fonction de production déterminée par l'épargne croise la droite représentant l'effet cumulé de la croissance de la population et de la dépréciation. En ce point, le taux d'investissement est constant et sa variation est donc nulle :  $\Delta k = 0$  et  $\dot{k} = 0$  ; d'où  $sf(k_t) = (n + \delta)k_t$ . Donc Le ratio  $k_{(t)}$  d'équilibre sera celui dont le niveau reste constant. Si à cet état correspond un niveau  $k^*$  pour tout  $t$  ; puisque la population est supposée constante ; c'est dire que le niveau de stock de capital correspondant sera constant. Ce niveau d'équilibre est dit stationnaire, parce qu'en ce point aucun investissement ne vient faire varier le niveau du stock de capital.

En tenant compte des hypothèses de rendements marginaux décroissants et de rendements d'échelle constants, soit  $g(k) \equiv sf(k) - (n + \delta)k$  ; tel que  $g'(k) > 0$  pour tout  $k$  ; alors,  $k(t+1) = g(k_t)$ . Puisqu'à l'état stationnaire  $k^*$  on a  $g(k) = 0$ , alors  $\delta k^* = sf(k^*)$ . Ainsi,

étant donné  $k_{(t+1)} = sf(k_t) - (n + \delta)k_t$ , on en déduit que :  $\frac{(k_{t+1} - k_t)}{k_t} = \frac{sf(k_t)}{k_t} - (n + \delta)$  ; pour tous

les  $k_t \in [0, k^*]$ ,  $k_{t+1} \in [k_t, k^*]$ , tout comme pour  $k_t > k^*$ ,  $k_{t+1} \in [k^*, k_t]$ . Il en découle qu'à l'horizon infini,  $\{k_t\}_{t=0}^{\infty}$  converge vers  $k^*$  et  $y$  est stable tel que :

$$k^* = \frac{s}{n + \delta} \quad \text{et} \quad y^* = \frac{F(k^*)}{k^*} = \frac{s}{n + \delta} \quad (13)$$

Alors que l'équilibre peut désigner un point en sciences physiques, en économie il se comprend surtout comme la trajectoire qu'empruntent les facteurs de production, le revenu par tête, la consommation et l'investissement vers l'état stationnaire. La dynamique transitoire décrit le comportement du système économique vers son niveau régulier où chaque variable croît à un taux constant. Le modèle de Solow établit que c'est vers ce point noté  $k^*$  que converge l'économie quel que soit le niveau de capital initial.

Sur le long terme, le sentier d'expansion de l'économie le conduirait inéluctablement vers son état régulier. L'idée d'une convergence vers un état d'équilibre est donc contenue dans le modèle de Solow.

Cependant, un modèle de croissance sans progrès technique est, de l'avis de Solow, une hypothèse simplificatrice, qui une fois relâchée, permet à l'économiste de mieux mesurer les changements qualitatifs qui en découlent (Solow, 1956).

## 1.2 - Le modèle de Solow avec progrès technique

Le progrès technique est dans son acception initiale les acquis de la science, susceptibles d'être intégrés dans le processus de production. Dès lors qu'ils sont découverts et utilisables dans la production, ils sont à la portée de tous et sont donc supposés exogènes.

Lors de cette deuxième étape de sa contribution, Solow (1956) intègre le changement technique dans son modèle. La fonction de production qui en résulte conserve toutes les hypothèses de la précédente. Le changement technique est supposé varier au cours du temps tel que :  $A_t = e^{gt}$ . La fonction de production s'écrit donc :  $Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$ .

En suivant la démarche de l'accumulation sans progrès technique ;  $y = \frac{Y}{L} = Ak^\alpha$ ,  $k = \frac{K}{L}$  et l'accumulation de capital au cours du temps  $\dot{k} \equiv \frac{d(K/L)}{dt} = \dot{K}/L - nk$ . Il en résulte un équation fondamentale de la forme :

$$\dot{k} = sAk^\alpha - (n + \delta)k.$$

L'incorporation du progrès technique dans la fonction de production suscite cependant un débat. Si Solow l'incorpore au facteur capital, des formes alternatives d'incorporation du progrès sont suggérées dans la littérature<sup>6</sup>. L'incorporation dite neutre au sens de Solow, accroît l'efficacité du capital, permet une variation de L et admet un K/Y constant.  $Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$ .

Toutes fois, Selon Barro et Sala-i-Martin (2004) sur le long terme l'incorporation du progrès technique est nécessairement neutre au sens de Harrod, si à l'état régulier les taux de croissance doivent être stables. Acémoglu (2000) précise cependant que cette nécessaire neutralité sur le

---

<sup>6</sup> Pour une approche plus formalisée de la neutralité du progrès technique, le lecteur pourra se référer à Briec, W. et Peypoch, N. (2010) Microéconomie de la production : la mesure de l'efficacité et de la productivité, Edition de Boeck, Bruxelles, 1ere Edition, p.150-164

long terme reste compatible avec une neutralité au sens de Solow au cours de la dynamique transitoire.

Pour la suite de notre travail, nous suivons la conclusion de Barro et Sala-i-Martin (2004). Le progrès technique de type « capital augmenting » de Solow est, sur le long terme une fonction de production de type « labour-augmenting » de Harrod :

$$Y_t = K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} \quad (14)$$

Les variables,  $Y$ ,  $K$ ,  $L$  sont comme précédemment présentées,  $A$  est le facteur du changement technique,  $\alpha \in [0,1]$  tel que  $\alpha$  est la part du capital, et  $(1-\alpha)$  la part du facteur travail dans la technologie de production.

Le corpus d'hypothèses étant supposé inchangé, la population croît de telle manière  $L_t = L_0 e^{nt}$ .

Au fil de temps, le changement technique se fait au taux de  $\dot{A}_t = g \cdot A_0$ ; et la population à celui de  $\dot{L}_{(t)} = nL_0$ . L'analyse économique s'intéresse à l'évolution de l'efficacité du capital par unité de travail ou « *effective capital-labor* » et note  $\hat{k} = \frac{K}{AL}$  le ratio capital-travail, et le revenu par

tête :  $\hat{y} = \frac{Y}{AL} = f(\hat{k})$ .

La dynamique d'accumulation du stock de capital par unité de travail effectif s'opère suivant :

$\dot{\hat{k}} = \frac{I - \delta K}{AL} - (n + g)\hat{k}$ . Et suivant les opérations qui ont conduit à l'équation (10) on obtient la

dynamique de l'accumulation en présence du changement technique exogène sous la formule :

$$\dot{\hat{k}} = sf(\hat{k}) - (g + n + \delta)\hat{k} \quad (15)$$

Qui dans le cas spécifique la fonction Cobb-Douglas s'écrit :

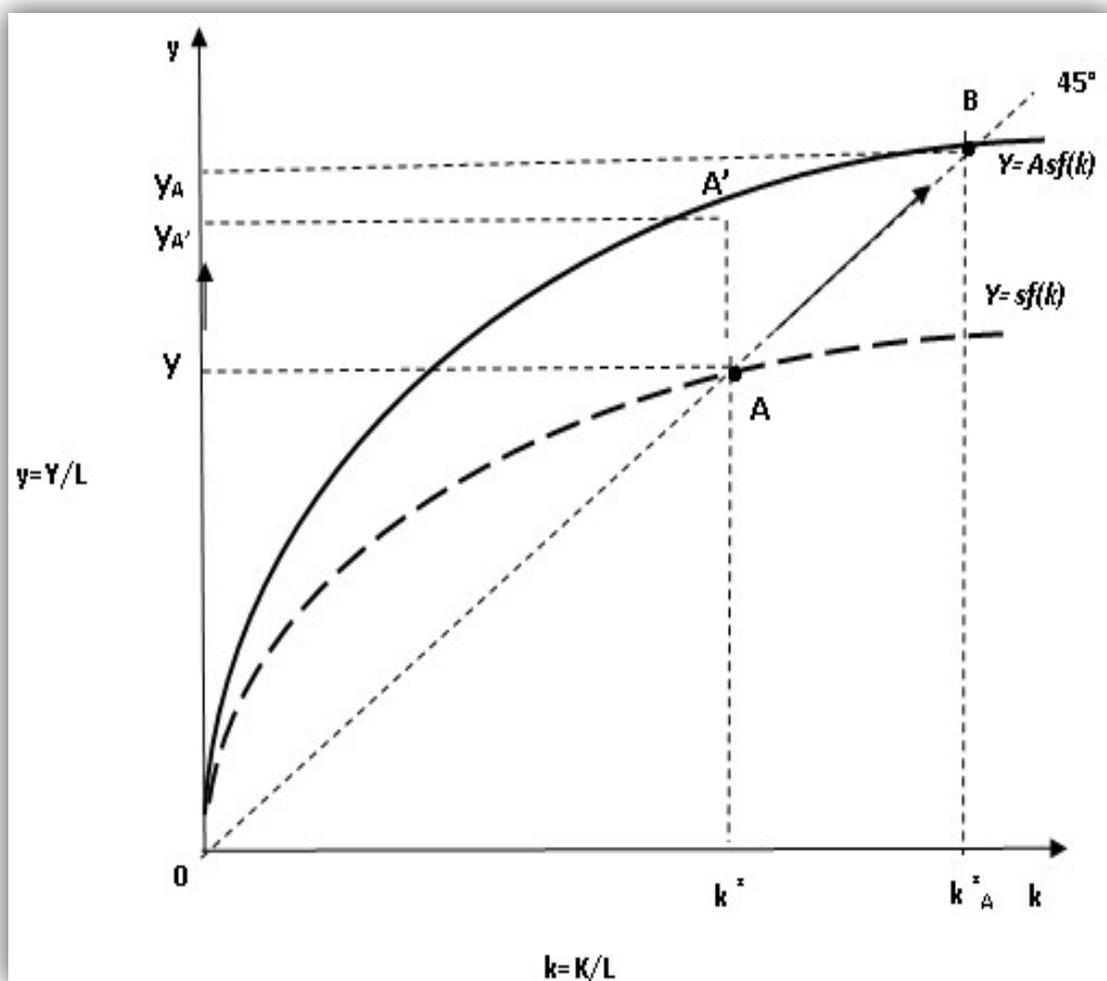
$$\dot{\hat{k}} = sA\hat{k}^{-(1-\alpha)} - (g + n + \delta)\hat{k} \quad (16)$$

Sous l'hypothèse des rendements marginaux décroissants, à mesure que le stock de capital croît, le taux de croissance de l'économie décroît. Cette baisse du taux de croissance s'effectue donc à

une certaine vitesse qui permet de savoir à quel moment l'état régulier pourrait être atteint par une économie à partir d'un instant  $t$  donné du temps.

L'incorporation du progrès technique dans le modèle provoque un mouvement de la fonction de production et repousse le terme de l'état régulier. Le progrès technique introduit dans le processus de production un accroissement de produit pour tout mixe d'inputs, et impulse à l'économie une dynamique nouvelle. Pour un même niveau de stock de capital, l'amélioration introduite par le progrès technique permet un niveau d'output plus élevé (cf. figure 2).

Figure2. Effet du progrès technique



### 1.2.1 La convergence vers l'état d'équilibre

La vitesse de convergence mesure de combien le taux de croissance diminue à mesure qu'augmente le stock de capital, elle est mesurée par :  $\beta = -\frac{\partial(\dot{\hat{k}}/\hat{k})}{\partial \log \hat{k}}$ . Puisque la dérivée est négative, la valeur de  $\beta$  ne peut être positive qu'en lui adjoignant un signe négatif.

A partir de l'équation (14) de l'accumulation du stock de capital, on obtient la formule de la vitesse de convergence :

$$\beta = (1 - \alpha) \cdot sA \cdot (\hat{k})^{-(1-\alpha)} \quad (17)$$

La vitesse de convergence est donc fonction du ratio capital-travail, mais aussi de l'épargne et du progrès technique. A l'état régulier,  $sA \cdot (\hat{k})^{-(1-\alpha)} = (g + n + \delta)$ , ainsi la vitesse au voisinage de l'état régulier est :

$$\beta^* = (1 - \alpha) \cdot (g + n + \delta) \quad (18)$$

Le terme  $\beta^*$ , indépendant du taux d'épargne, indique l'allure à laquelle l'output par travail effectif ( $\hat{y}$ ) croît, au voisinage de l'état régulier et s'approche de ( $\hat{y}^*$ ) quand le taux de croissance du capital par travail effectif devient nul ; la situation de l'état de régulier se caractérise par :

$$\dot{\hat{k}} = 0 \Leftrightarrow \hat{k}^* = \left[ \frac{s}{g + n + \delta} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (19)$$

$$\hat{y}^* = f(k^*) = \left[ \frac{s}{g + n + \delta} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (20)$$

Ce taux de croissance de l'output par tête de travail effectif conduit à un niveau d'output par tête effectif d'équilibre égale à :

$$y^* = Ay^* = A_0 e^{gt} \left[ \frac{s}{g + n + \delta} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (21)$$

Et sous forme logarithmique :

$$\log(y^*) = \log(A_0) + gt + \frac{\alpha}{1-\alpha} \log(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \log(g + n + \delta) \quad (22)$$

En présence du progrès technique, le niveau d'équilibre de l'output par tête de travail effectif comporte deux termes imbriqués :

- Le terme  $\log(A_0) + gt$  traduisant la contribution du progrès technique à l'état régulier ; ayant une composante initiale  $A_0$  et le taux de croissance au fil du temps  $gt$  ; puisque l'approche de Solow (1956) en fait un bien public les pays partageraient également le même progrès technique du fait de la diffusion de celui-ci et de son accessibilité gratuite (Barro et Sala-i-Martin, 1990, 2004 ; Abramovitz, 1986 ; Alexiadis et al, 2013). Bien que considéré comme exogène dans le modèle de Solow, il contribue à l'amélioration de la technologie en affectant la frontière de la fonction de production agrégée (Acemoglu et Robinson, 2006 ; Solow, 2001) ce qui a pour conséquence de repousser l'état régulier dans le temps. Son importance est donc telle qu'il suscite des questions, ainsi que Solow (2001) lui-même en posera quelques-unes : comment le définir et le mesurer ? Quel est l'impact de l'amélioration de sa qualité sur la productivité ? Comment le traiter dans les modèles économiques ? La réponse à ces questions ouvre un long débat entre les économistes et continue de nourrir les travaux (Boskin et Lau, 2000 ; Kelly, 2009 ; Acikgoz et Mert, 2014).
- Le terme  $\frac{\alpha}{1-\alpha} \log(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \log(g + n + \delta)$ , déterminé par le rapport des parts des facteurs pondérant l'évolution des paramètres  $s$ ,  $g$ ,  $n$  et  $\delta$ . Dans son modèle, tout en examinant l'effet du progrès technique sur la croissance, Solow (1956) accorde au taux d'épargne, de la croissance démographique et de la dépréciation d'être déterminants dans la dynamique vers l'état régulier. Ce terme peut être assimilé à la composante structurelle de la dynamique de croissance (Cadoret et Tavéra, 1999) et comporte deux éléments structurants : Le coefficient  $\frac{\alpha}{1-\alpha}$  exprime le rapport des parts des facteurs de production dans la technologie de production affectant le processus de convergence vers l'équilibre. Son importance est telle dans les modèles d'étude de la croissance que certains auteurs en viennent à le prendre comme un input en soi. Dès lors que la fonction de production agrégée du modèle Solow partage les mêmes caractéristiques que celle de Cobb et Douglas, ce terme est supposé constant, avec  $\alpha = 1/3$  et donc  $(1-\alpha) = 2/3$  (Barro et

Sala-i-Martin, 2004 ; Sturgill, 2012). La constance de la part relative des facteurs est abordée ici en termes de quantités de facteurs. Cependant si la substitution des facteurs est une expression de changement technique, elle dépend ainsi des prix des facteurs, et donc de leur rémunération dans le produit. Il s'agit donc d'un réel enjeu économique qui occupera les économistes au point de devenir un sujet de débat très tôt (Solow, 1957 ; Lebergott, 1964). En exprimant son scepticisme par rapport à la constance du rapport des parts des facteurs, Solow (1957) dira qu'il ne s'agit que d'une stabilité relative, au sens où elle varie moins que l'on peut s'y attendre. Les éléments  $s$  et  $n$  dont l'impact sur la croissance est généralement de court terme. L'étude de Solow précise que la variation structurelle est d'ailleurs moindre entre les secteurs qu'au niveau des firmes, on peut parler d'une relative stabilité. La constance du rapport des parts des facteurs induirait une variation d'égale proportion de l'un des facteurs dès lors que l'autre varie. En supposant la baisse de leurs rendements marginaux, elle affecterait la vitesse de convergence du produit per capita (Kumar et Russell, 2002 ; Barro, 2004) à travers son interaction avec le taux d'épargne (Rebelo, 1991 ; Bucci, 2009) et l'effet cumulé de la croissance : du progrès technique (Pereira, 2002 ; Jones, 2013), du travail (Juselius, 2008 ; Mcadam et al., 2004) et de la dépréciation (Gylfason et Zoega, 2007 ; Boucekkine et al., 2009). La substitution entre le capital et le travail pourrait découler du niveau des prix relatifs des facteurs et de la régulation du marché du travail (Hasan et al., 2013 ; Braude et Menashe, 2004), induisant une meilleure réallocation des ressources (Syverson, 2007, 2011 ; Klenow et Hsieh, 2009) et dans une économie ouverte, favoriser les investissements directs à l'étranger (Klump et De La Grandville, 2000 ; Antony, 2009).

Ainsi, la recherche des déterminants de la croissance et de la productivité a préoccupé les chercheurs tant au niveau macro que microéconomique.

Au niveau macroéconomique, les économistes s'interrogent sur les raisons qui expliquent que le taux de croissance de certains pays soient plus élevés que ceux d'autres ou que le niveau de vie de certaines populations soit plus élevé que celui des autres (Abramovitz, 1956, 1986 ; Fagerberg, 1995). Dans quelles conditions les uns rattrapent-ils les autres ? Au niveau microéconomique ce sont les différences de productivités qui ont le plus focalisés l'attention : d'où vient l'écart de productivité entre les firmes ? Comment organisent-elles leurs facteurs de production pour obtenir une bien meilleure productivité ? (Boussemart et Leleu, 2008 ; Ark et al, 2008 ; Syverson, 2011). Sans être les seuls, ces paramètres constituent des fondamentaux de la croissance et de

la productivité. Ainsi, pour Tavéra (1999) ils représentent un effet structurel. Dans l'approche néoclassique traditionnelle, si le taux de croissance de la population est un facteur exogène, certains chercheurs lui reconnaissent désormais un caractère endogène pouvant affecter la taille du marché de l'emploi, la consommation et l'épargne.

### 1.2.2 La dynamique transitoire et l'hypothèse de convergence

Tout comme dans le modèle sans progrès technique, en dehors de l'état régulier, l'accumulation du stock de capital par unité de travail est telle que :

$$\dot{\hat{k}} = sA\hat{k}^{-(1-\alpha)} - (g + n + \delta)\hat{k} \neq 0 \text{ et donc } sA\hat{k}^{-(1-\alpha)} \neq (g + n + \delta)\hat{k}.$$

Puisque la productivité moyenne  $\frac{f(\hat{k})}{\hat{k}}$  est décroissante en  $\hat{k}$  alors que le terme  $(n + g + \delta)$  est constant, la courbe coupe nécessairement une droite (cf. figure 2).

Nous avons donc les deux situations suivantes de convergence vers l'état stationnaire qui prouvent la stabilité en  $k^*$  :

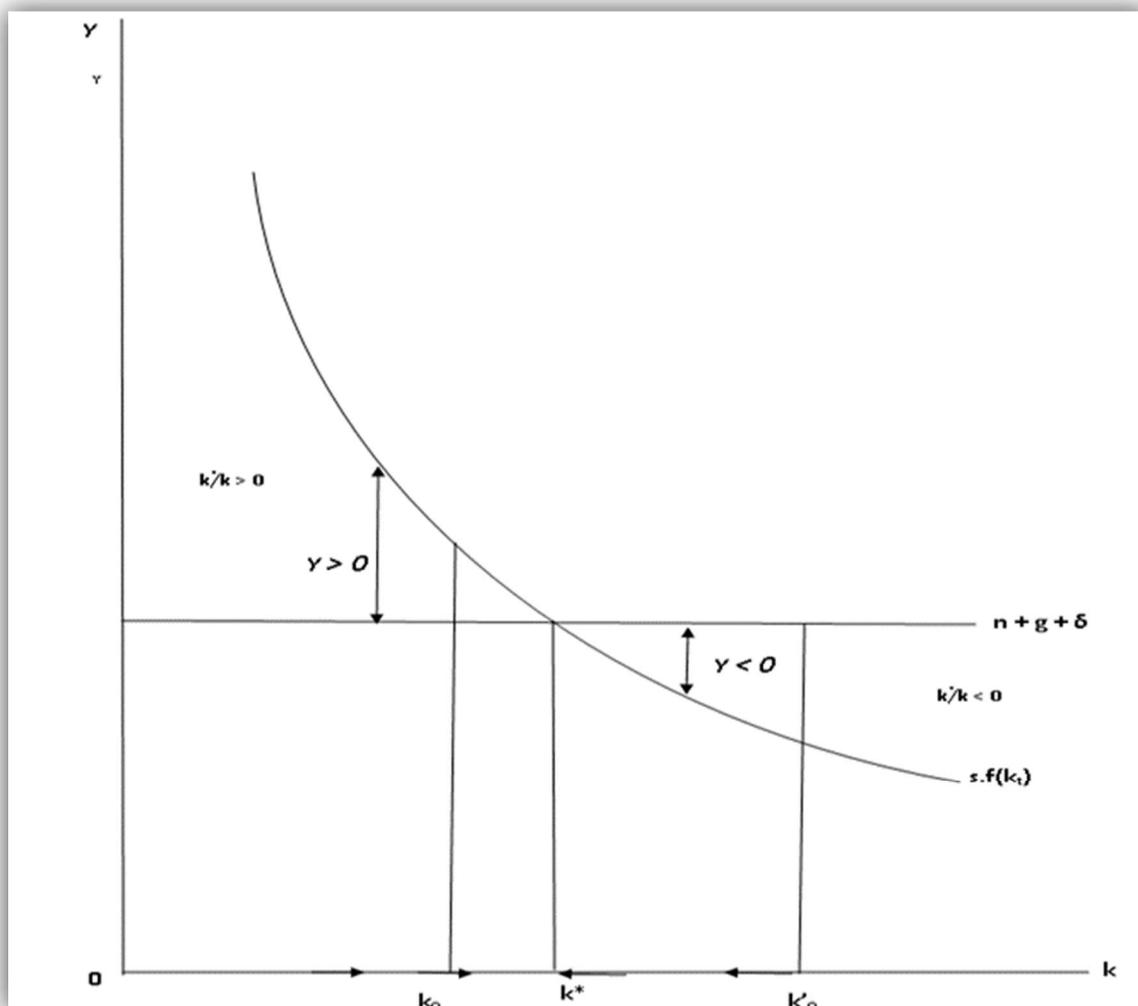
- Si  $\hat{k}_t < k^*$  ;  $\hat{k}_t$  augmente vers  $k^*$  ; puisque  $\dot{\hat{k}}_t > 0$  et  $\hat{k} > g + n$ .
- Si  $\hat{k}_t > k^*$  ;  $\hat{k}_t$  diminue vers  $k^*$  ; puisque  $\dot{\hat{k}}_t < 0$  et  $\hat{k} < g + n$ .

Un pays ayant une intensité capitaliste initiale inférieure, croîtra plus vite que celui mieux doté au même moment, puisqu'ils sont supposés partagés le même taux d'épargne. Mais sous l'hypothèse où le pays pauvre a un taux d'épargne inférieur à celui du pays riche, le terme de son état régulier est plus proche et donc sa croissance sera plus faible, il ne pourra donc pas converger vers le même état régulier que le pays riche dont l'état régulier est plus éloigné. La convergence est alors conditionnée à une égalité des préférences d'épargne des pays, du taux de croissance démographique et de celui de la dépréciation et de la croissance du progrès technique.

L'écart entre les taux de croissance du progrès technique s'illustre par la différence entre les pentes des fonctions de production. Le progrès technique augmente la productivité marginale des facteurs de production. Cependant la pente de la fonction de production du pays pauvre reste toujours supérieure à celle du pays riche ; de sorte que le progrès technique impulse une croissance plus rapide au pays pauvre qu'au pays riche. La convergence conditionnelle au progrès

technique exprime cette tendance du pays moins riche à rattraper le pays riche grâce à son accession à une nouvelle technologie.

Figure 2 : l'hypothèse de convergence économique



Tester économétriquement l'hypothèse de convergence vers un équilibre stable de long terme, revient à vérifier si autour du point d'équilibre le taux de croissance de l'output par unité de travail effectif est tel que :

$$\frac{\hat{y}_t^*}{\hat{y}_t} = \beta(\log \hat{y}^* - \log \hat{y}) \quad (23)$$

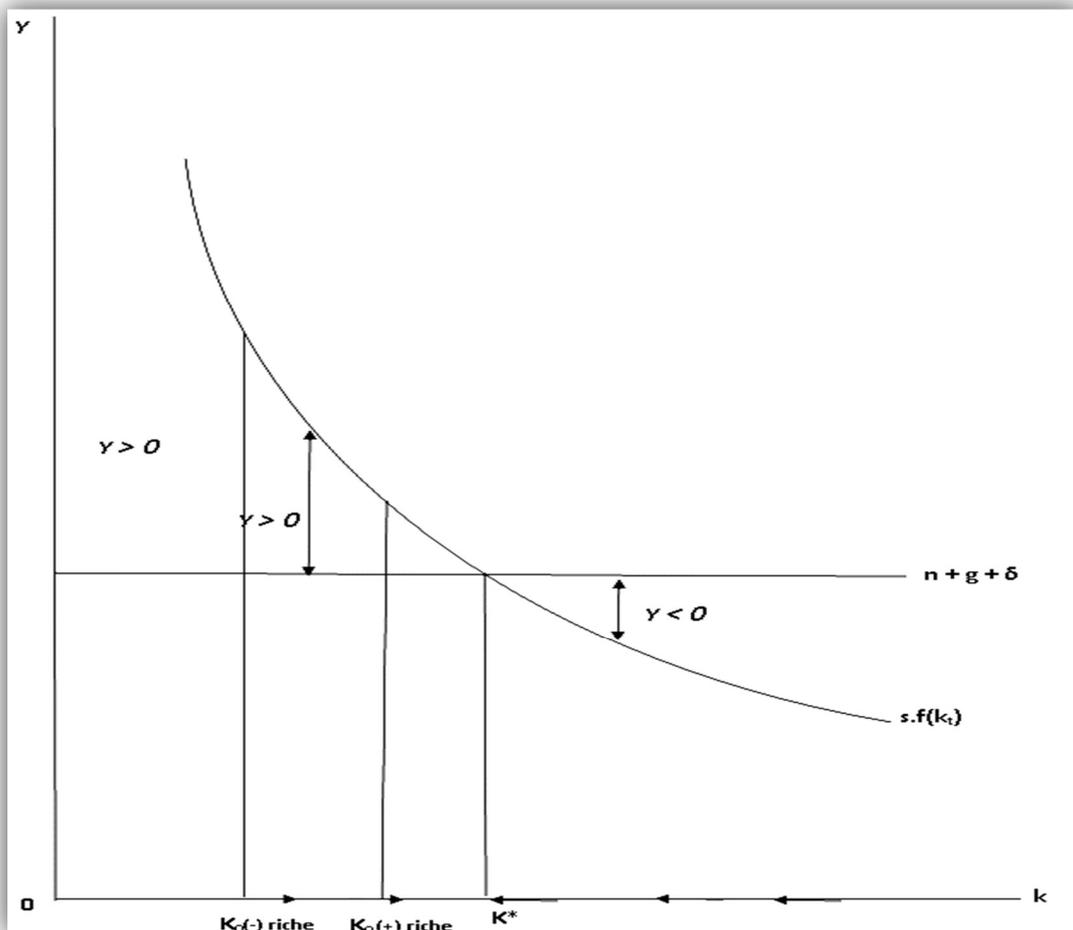
Avec  $\beta = (1 - \alpha)(g + n + \delta)$ , la vitesse de convergence. Plus  $\beta$  est élevé, plus élevé est le taux de croissance moyen par lequel l'économie se rapproche de son état régulier. Autrement dit, plus l'économie est loin de son état régulier, plus grand sera son de taux de croissance moyen, lui

permettant ainsi de croître plus vite que les économies qui sont plus proches de leur état d'équilibre. Comme l'illustre la figure 3, si les pays riches et pauvres ont le même état régulier, l'accumulation de capital permet au second de croître plus vite que le premier et de le rattraper à terme.

Par ailleurs, puisque le taux de croissance du stock de capital par unité de travail effectif peut s'écrire :

$$\frac{\dot{\hat{k}}}{\hat{k}} = s\hat{k}^{\alpha-1} - (a + n + \delta) \quad (24)$$

**Figure.3 : rattrapage du pays riche par le pays moins riche**



Alors, autour du point d'équilibre le taux de croissance est fonction de son niveau initial  $t_0$  et de la distance de son niveau actuel en  $t$  et de celui de son état d'équilibre tel que :

$$\frac{\dot{\hat{k}}}{\hat{k}} = \beta(\log \hat{k}^* - \log \hat{k}), \quad (25)$$

Avec  $\beta = (1 - \alpha)(a + n + \delta)$ , la vitesse de convergence du stock de capital.

Parce que, à l'état d'équilibre le taux de croissance du capital par unité de travail effectif est égal à celui du revenu par unité de travail effectif, on a alors :

$$\frac{\dot{\hat{k}}^*}{\hat{k}} = \frac{\dot{\hat{y}}^*}{\hat{y}} \Leftrightarrow \alpha\beta [\log \hat{k}^* - \log \hat{k}] = \beta [\log \hat{y}^* - \log \hat{y}] \quad (26)$$

L'équation (26) exprime comment l'écart de niveau de vie est uniquement expliqué par l'écart des niveaux d'accumulation de capital et plus vite s'intensifiera le capital plus rapidement se comblera l'écart du PIB/hbts.

A partir des années 80, de nombreux travaux empiriques se sont consacrés à tester la validité de la prédiction du modèle de Solow. Si les uns en confirmaient la validité (Baumol, 1986 ; Romer, 1990), d'autres au contraire l'invalidaient (Rebelo, 1991 ; Barro, 1991) affirmant plutôt l'existence d'une divergence entre les économies. Cette diversité de vue, s'est révélée dépendre de la différence des méthodes de test employées.

## Section 2- Aperçu de la convergence économique : concept, caractéristiques et typologie

Le concept de convergence n'est pas l'apanage des sciences économiques. De nombreuses disciplines recourent au mot convergence pour décrire la dynamique de rapprochement vers un état. Celui-ci pouvant être un état à terme, du même et seul phénomène ou le rapprochement de phénomènes évoluant vers un même objectif. Le concept de convergence traduirait ainsi une réduction des écarts dans un processus évoluant à partir d'un état vers un autre. Cette évolution est analysée par les mathématiques grâce à une panoplie d'outils, caractérisant la réduction vers un point ou une moyenne ou bien simplement la réduction des dispersions dans le temps.

Tout comme de nombreuses disciplines, les sciences économiques puisent dans la méthode mathématique les outils de son analyse de la convergence économique tout en lui offrant un support théorique qui lui confère son caractère approprié. Toute théorie reposant sur la solidité de ses hypothèses (Solow, 1956), à la diversité des hypothèses va correspondre une diversité de types de convergence. Selon Islam (1995) il est donc possible de distinguer des approches dichotomiques dans la convergence. Cependant, depuis son émergence dans la théorie

néoclassique, le concept de convergence a suscité tant d'intérêts théoriques et empiriques qu'il a investi de nombreux champs et donc s'est enrichi de distinctions diverses, au point qu'il ne soit aisé de prétendre à un inventaire exhaustif des types de convergences dans la discipline.

L'objectif du point suivant est de survoler le concept, ses caractéristiques mathématiques et de relever les types de convergences qui nous seront utiles dans le cadre de notre étude. Ainsi après un premier point consacré au concept, nous nous attacherons dans un deuxième point à présenter les différents types de convergence couramment utilisés dans la théorie néoclassique de l'étude de la croissance et de la convergence.

## **2.1 - Le concept de convergence et ses caractéristiques**

Intuitivement, le concept de convergence fait appel à un processus de rapprochement et éventuellement d'égalisation. De nombreuses disciplines s'y réfèrent pour traduire la réduction des écarts.

Par exemple en biologie, la mutation des espèces vers plus de ressemblance a été exprimée en termes de convergence évolutive. Que ce soit par adaptation, par sélection naturelle ou par contrainte en fonction de l'environnement (Losos, 2011).

En sociologie, la convergence pourrait se traduire comme une similarité croissante entre les indicateurs humains de différentes entités sociales tels que les groupes ou les pays (Molina et Purser, 2010) ; une similarité croissante entre une ou plusieurs caractéristiques de juridictions politiques (Klingler-Vidra et Schleifer, 2014<sup>7</sup>)

En physique optique, la convergence va traduire le fait que deux lignes droites vont ensemble (*com*) se courber (*vergere*) vers un seul et même point. Ainsi le foyer d'une lentille est le point focal vers lequel vont se concentrer les rayons lumineux qui la traversent (Charles et Dutier, 2010).

---

<sup>7</sup> Klingler-Vidra et Schleifer, (2014) précisent que la convergence diffère de l'isomorphisme. Celui-ci traite de l'augmentation des similarités entre les organisations, tandis que la convergence concerne le rapprochement des caractéristiques des politiques nationales (p.265)

Dans de nombreuses autres disciplines la convergence traduit cette tendance à se rapprocher dans une perspective d'évolution. A l'inverse, la divergence sera la tendance à s'écarter au cours du temps.

C'est dans les mathématiques que la plupart des disciplines puisent les outils d'analyses quantitatives de la convergence ou de la divergence. En mathématique, Lafay De Micheaux et Liquet (2009) distinguent trois types :

- La convergence en loi, utilisée pour obtenir les intervalles de confiance et tester l'hypothèse du théorème central limite ;
- La convergence en probabilité qui estime que pour une valeur de plus en plus grande d'une série, il est probable de trouver un écart relativement faible entre les variables aléatoires qui la composent ;
- La convergence en moyenne quadratique utilisée pour analyser le carré de la moyenne des écarts entre deux suites. L'hypothèse de la convergence est affirmée à mesure que cet écart est nul ou proche de zéro.

Selon Fuss (1999), l'étude de la convergence peut donc s'envisager selon quatre formulations alternatives ou complémentaires : Soient deux séries  $y_t$  et  $y_t^*$ , on dira que :

- $y_t$  et  $y_t^*$  convergent point par point si leur différence tend vers une constante à mesure que  $t$  tend vers l'infini :  $\lim_{t \rightarrow \infty} (y_t - y_t^*) = a$ .
- $y_t$  et  $y_t^*$  convergent en espérance, si l'espérance de leur différence tend vers une constante à mesure que  $t$  tend vers l'infini:  $\lim_{t \rightarrow \infty} E(y_t - y_t^*) = a$ .
- $y_t$  et  $y_t^*$  convergent en probabilité si, d'une part l'espérance de leur différence tend vers une constante,  $\lim_{t \rightarrow \infty} E(y_t - y_t^*) = a$  et si d'autre part la variance de leur différence tend vers zéro quand  $t$  tend vers l'infini  $\lim_{t \rightarrow \infty} \text{var}(y_t - y_t^*) = 0$ .

- Fuss (1999)<sup>8</sup> propose un type de convergence dit « à mi-chemin » entre la convergence en espérance et la convergence en probabilité. Ce nouveau type serait moins rigide que la convergence en probabilité exigeant que la dispersion entre les séries s'annule en tout point de l'évolution alors même que les séries sont souvent sujettes à des chocs aléatoires même transitoires. Il est donc plus raisonnable de supposer que les différences tendent vers une constante plutôt que vers zéro. Par ailleurs la convergence en espérance serait très souple, puisqu'elle laisse à la seule moyenne de décider ou non de la convergence.
- En assouplissant la contrainte de la convergence en probabilité et en rigidifiant celle de la convergence en espérance, l'auteur estime que les séries  $y_t$  et  $y_t^*$  seraient convergentes si l'espérance de leur différence tend vers une constante  $\lim_{t \rightarrow \infty} E(y_t - y_t^*) = a$  et en même temps la variance de leurs différences tend vers une constante qui est leur écart type  $\sigma^2 : \lim_{t \rightarrow \infty} \text{var}(y_t - y_t^*) = \sigma^2$ .

En fonction du temps, la convergence peut s'entendre *a posteriori* : les séries ont convergé à une constante près si l'espérance de leur écart et la variance de leur différence ont été constantes :  $E(y_t - y_t^*) = a$  et  $\lim_{t \rightarrow \infty} E(y_t - y_t^*) = a$ . Elles convergeront sûrement lorsque l'espérance de leur différence tend vers une constante et la variance de leur relation tend également vers une constante :  $\lim_{t \rightarrow \infty} E(y_t - y_t^*) = a$  et  $\lim_{t \rightarrow \infty} \text{var}(y_t - y_t^*) = \sigma^2$ .

Ces différents types de convergences de données statistiques peuvent, globalement s'analyser de deux façons (Fuss, 1999) : soit en fonction de l'évolution moyenne de leur différence pour négliger les écarts occasionnels par rapport à la moyenne ; soit en fonction de leur écart type, négligeant les fluctuations de la moyenne au cours du temps.

## 2.2 - La typologie de la convergence économique

La théorie économique de la convergence tente de répondre à une série de questions relatives à l'évolution comparée sur le long terme des économies les unes par rapport aux autres : les différences de niveau de vie se résorbent-elles entre les pays ? A quelles conditions les

---

<sup>8</sup> Fuss (1999), P. 226

différences entre les pays se maintiennent-elles ? Selon quels mécanismes les transitions d'une situation à l'autre s'opèrent-elles ?

La multitude des concepts de convergence selon Islam (1995) est née de la diversité des hypothèses de travail utilisées par les chercheurs pour examiner les relations de croissance entre les économies. Les types de convergence couramment évoqués dans la littérature peuvent se distinguer par paires antinomiques.

### 2.2.1 La $\beta$ -convergence et la $\sigma$ -convergence

Tant pour la convergence nominale que réelle, la dichotomie qui caractérise les hypothèses des tests permet de les regrouper en paires antithétiques : La  $\beta$ -convergence *ou*  $\sigma$ -convergence sont les plus couramment évoquées dans la littérature. La  $\beta$ -convergence repose sur l'hypothèse des rendements marginaux décroissants. Avec un taux d'épargne identique, les pays pauvres connaîtraient une croissance plus rapide que les pays riches (Baumol, 1986 ; Barro et Sala-i-Martin, 1992 ; Mankiw et al., 1992 ; Sala-i-Martin, 1996). Il y aurait donc une corrélation négative entre le niveau initial et les taux de croissance d'une grandeur comme le PIB par tête, en chacune des sous périodes au cours desquelles la convergence est testée. D'où son appellation de régression du niveau initial de croissance. A contrario, pour Quah (1993) et Friedman (1994) et d'autres, la convergence est un phénomène qui traite de l'ampleur de la dispersion entre les données. Une corrélation négative est donc insuffisante pour en révéler la nature. Il est plutôt préférable d'analyser la dynamique des écarts types au cours du temps. D'où le nom de  $\sigma$ -convergence.

### 2.2.2 Convergence d'une économie (ad intra) ou convergence entre des économies (ad inter)

Le modèle néoclassique de la croissance inspiré par les travaux initiaux de Solow (1956, 1957) et Swan (1956) établit que toute économie converge vers un état régulier ; une situation d'équilibre entre les taux de croissance de ses variables déterminantes exogènes. De sorte que les économies croissent d'autant plus vite qu'elles sont éloignées de l'état stationnaire, supposé commun à tous. Le test de convergence vise alors à vérifier la dynamique de rapprochement de l'état d'équilibre. A l'opposé, est née une approche de test de la convergence entre les pays, issue de la théorie de la croissance endogène (Mankiw et al., 1992) dont l'hypothèse de départ repose sur le caractère endogène des variables explicatives de la croissance, en

l'occurrence le facteur travail qui n'est plus considéré simplement sous son aspect quantitatif, mais aussi qualitatif. Le concept de capital humain affecte le lien entre la production et ses facteurs et ainsi les états réguliers sont spécifiques à chaque pays. Cette prise en compte des spécificités individuelles permet de mieux comparer les trajectoires de croissance des pays au cours du temps.

### **2.2.3 La convergence de niveau versus convergence des taux de croissance**

Cette distinction issue de l'approche de la théorie croissance endogène (Mankiw et al, 1992 ; Acemoglu, 2009), repose sur deux hypothèses : d'une part, celle du progrès technique conçu comme un bien public (non rival et non exclusif) produit sans coût, gratuitement et équitablement accessible à tous les pays, qui permet aux taux d'équilibre d'être identiques à tous et d'autre part celle d'une technologie commune conçue comme une fonction de production agrégée assurant une même efficacité de production entre les pays. Dans ces conditions il est possible de tester la convergence des taux de croissance ou celle des niveaux absolus des agrégats entre les pays.

### **2.2.4 La convergence absolue (inconditionnelle) ou conditionnelle**

Ces convergences sont les plus utilisées dans les études économiques. L'hypothèse de convergence absolue ou inconditionnelle s'entend de séries qui convergent indépendamment de leurs conditions initiales. Ainsi les pays qui disposent de caractéristiques structurelles similaires (la même technologie, les préférences d'épargne et des taux de croissance démographiques, le même progrès technique) convergent tous vers le même état d'équilibre (Solow, 1956 ; Barro et Sala i Martin, 1991, 2004). Par contre la convergence est dite conditionnelle quand les conditions initiales sont supposées différentes, conduisant vers des états réguliers distincts ; la convergence de la variable expliquée est alors dite conditionnelle aux variables explicatives (Mankiw et al., 1992 ; Islam, 1995, 2003 ; Aghion et Howitt, 2009).

### **2.2.5 La convergence conditionnelle versus club-convergence**

Enoncée par Baumol (1986) et approfondie par les théoriciens de la croissance endogène (Durlauf et Johnson, 1995 ; Galor ,1996), le club-convergence repose sur l'hypothèse de la non-unicité de l'état régulier et s'entend de séries qui, ayant les mêmes caractéristiques structurelles tendent à se rapprocher en fonction de leurs conditions initiales similaires. A la différence de la

convergence inconditionnelle comme précédemment présentée dans laquelle aucune considération ne porte sur les conditions initiales et/ou l'état stationnaire est identique et unique, tout comme le sont les conditions structurelles.

### 2.2.6 Convergence déterministe *versus* stochastique

En un instant  $t$ , en fonction de l'ensemble de l'information  $I_t$ , deux économies  $i$  et  $j$ , de revenu par tête respectif  $y_{i,t}$  et  $y_{j,t}$  convergent si :

$$\lim_{x \rightarrow \infty} E(y_{i,t+x} - a \cdot y_{j,t+x} | I_t) = 0$$

Au-delà du cas de deux pays, l'analyse de la convergence avec une telle approche oppose les chercheurs : pour les uns, la convergence peut se faire en fonction d'un pays de référence jugé leader ; par rapport auquel les autres pays sont comparés. Le  $y_{i,t}$  devient alors un  $y_{1,t}$ , ou 1 est l'index du pays leader. Quant aux autres, c'est plutôt par rapport à la moyenne  $\bar{y}_t$  qu'il convient de faire la comparaison. Cette approche par les séries chronologiques peut s'assimiler à une convergence inconditionnelle si  $a = 1$  ou à une convergence conditionnelle si  $a \neq 1$ .

La distinction entre les convergences déterministes ou stochastiques intervient par le biais de l'information  $I_t$ . La convergence sera stochastique (Bernard et Durlauf, 1996 ; Carlino et Mills, 1993) si  $I_t$  est jugée aléatoire, sinon elle sera déterministe ou conditionnée (Evans et Karras, 1996 ; Li et Papell, 1999) par un état d'information fixé.

### 2.2.7 Convergence des revenus ou convergence de la productivité globale des facteurs

Cette distinction ne concerne que la sphère réelle. Généralement, l'hypothèse de convergence est testée sur le niveau ou le taux de croissance du PIB per capita.

Il s'agit alors de voir comment se comporte la croissance du PIB au cours du temps, ou comment évolue le niveau des revenus par tête entre les pays. Selon Islam (2003), cette convergence résulte à la fois de l'accumulation du capital (*capital deepening*) et du rattrapage technologique (*technological catch-up*). Dans ce contexte et comme la PGF est la mesure la mieux appropriée du niveau technologique d'un pays, des économistes comme Dowrick et Nguyen (1989), Wolff (1991), Dougherty et Jorgenson (1997) se sont davantage intéressés à étudier la convergence des niveaux de PGF entre les économies, donnant lieu au concept de « *PGF-Convergence* ». Plus

les écarts de PGF s'agrandissent, plus les écarts de revenus s'accroissent, et plus les écarts de PGF se restreignent, plus les écarts de revenu diminuent.

Le concept pluriel de la convergence s'est enrichi des travaux de chercheurs. Les premières analyses suscitaient l'espoir d'un rapprochement de niveau de vie entre pays riches et pauvres. Mais l'absence de données de long terme couvrant de nombreux pays ne permettait pas l'approfondissement de la prédiction de la convergence. La constitution de la base de données de Maddison (1982) ouvre la possibilité de mieux tester et d'ouvrir le débat sur la convergence. Baumol (1986) conduit le premier test de convergence inconditionnelle entre 16 pays de l'OCDE sur la période 1870-1979. Dans l'espace PIB par unité d'heure de travail en abscisse et le taux de croissance en ordonnée, il détermine le trend sous la forme :

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)_{1870-1979} = \alpha - \beta \ln(Y_{1870}).$$

Il obtient un  $\beta$  négatif confirmant une relation négative entre le taux de croissance du revenu par unité de travail en fin de période et le niveau initial. Sous la critique de Romer, Baumol reprend son étude, élargit son échantillon à 72 pays et trouve un résultat mitigé de convergence et de non-convergence inconditionnelle en fonction de la taille de ses échantillons et conclut à la convergence de club. De Long (1988) en tirera la preuve du biais que la taille de l'échantillon peut introduire dans l'étude de la convergence.

Les premiers travaux de convergence conditionnelle sont de Kormendi et Meguire (1985) et Grier et Tullock (1989). Kormendi et Meguire (1985) montrent comment la dynamique du taux de croissance annuel moyen du PIB peut être expliquée par celle de la démographie, de l'offre de monnaie, des dépenses publiques, des exportations, de l'inflation et l'écart type de la production réelle et celle de l'offre de monnaie et l'indice des prix (1975=100) et la liberté civile. Ils utilisent la régression de la forme :

$$MDY_j = \alpha - \beta X_j + \varepsilon_j.$$

Où MDY est le taux de croissance annuel moyen du produit national réel,  $j$  et  $x_j$  le vecteur des variables explicatives,  $\beta$  est un vecteur de coefficients de  $X_j$  et  $\varepsilon_j$  le terme d'erreur.

A partir de la base de données du Fonds Monétaire International (FMI), ils constituent un échantillon de 47 pays. Sur la période 1950-1977 et trouvent un  $\beta$  négatif, preuve que les

variables exogènes expliquent bien la convergence des taux de croissance de l'économie. Cependant la liberté civile n'affecte que l'investissement. Ce premier travail sur la convergence conditionnelle sera approfondi par Grier et Tullock (1989). Leur étude porte sur 113 pays et couvre la période 1951-1980. Ils utilisent le niveau initial du PIB, le taux de croissance démographique, le ratio des dépenses publiques, l'écart type du taux de croissance du PIB, l'inflation, le différentiel d'inflation, l'écart type de l'inflation et la liberté politique.

La conclusion est qu'il existe divers sous-groupes dans l'échantillon, avec une confirmation de l'hypothèse de convergence uniquement entre les pays de l'OCDE ; le ratio des dépenses publiques est négativement corrélé au taux de croissance du PIB dans  $\frac{3}{4}$  des pays de l'échantillon y compris de l'OCDE et la variable politique est négativement corrélée à la croissance du PIB dans les pays d'Afrique et de l'Amérique du Sud et du centre.

Ces premiers travaux sur la convergence ne font référence à aucun cadre théorique de la croissance. Certes, l'approche de la convergence conditionnelle fait déjà le lien entre la croissance du PIB per capita et d'autres variables supposées déterminantes pour l'expliquer. Mais il s'agit plus d'une hypothèse de travail que d'une référence à une quelconque théorie de la croissance.

### **2.2.8 La convergence nominale versus convergence réelle**

A partir de la création de la zone euro accompagnée critères de Maastricht émerge le concept de convergence nominale qui se distingue de celui de la convergence réelle.

Le concept de convergence nominale est utilisé de manière élastique par les économistes : au sens étroit il est assimilé à la seule convergence du niveau des prix ou de l'inflation (Lein et al., 2008 ; Dreger et al., 2007). Cependant au sens large, certaines études empiriques considèrent la convergence nominale comme réunissant celle des prix, des taux de changes ou d'intérêt (Dobrinsky, 2006 ; Estrada et al, 2013 ; Drastichová, 2012). Depuis la création de la zone euro les études de convergence nominale revêtent un intérêt croissant. Elle s'assimile au processus de réalisation des critères de Maastricht que doivent respecter les pays candidats à l'adoption de l'euro comme monnaie unique (Iancu, 2008 ; Makris, 2015).

Dans cette approche: « *nominal convergence, in accordance with the optimum currency area (OCA) theory, represents the final stage of the process and involves monetary and fiscal*

*variables*»<sup>9</sup>. Cette signification de la convergence nominale exprime à la fois un des terreaux théoriques de son émergence et dessine les deux axes de son développement : la convergence monétaire et la convergence fiscale ou budgétaire. De la conjugaison de ces deux axes de convergence vont naître des concepts voisins : union économique et/ou monétaire, intégration économique, cohésion économique et sociale. Qualifiés d'économiques et ou monétaires, ces concepts concourent tous à mettre en lumière la trajectoire commune que partagent les économies de plusieurs secteurs, de plusieurs régions ou de plusieurs pays, dans le but de former un ensemble qui peut s'appréhender comme unité spécifique.

La Convergence réelle se réfère à la convergence des niveaux de vie, des productivités et des structures économiques<sup>10</sup>. L'idée de ce type de convergence s'origine dans la prédiction faite par Gerschenkron (1953 ) qui, comparant le niveau de développement des pays de l'Europe de l'Est à ceux de l'Ouest, au cours de la révolution industrielle, écrit « *The statement may be hazarded that, to the extent that industrialization took place, it was largely by application of the most modern and efficient techniques that backward countries could hope to achieve success, particularly if their industrialization proceeded in the face of competition from the advanced country.*<sup>11</sup> ». A partir d'un niveau d'industrialisation relativement bas, les pays les moins industrialisés auraient cet avantage de pouvoir croître plus vite que les pays déjà industrialisés à mesure qu'ils accumulent du capital et leur niveau de vie tendrait à se rapprocher au cours du temps. La convergence peut-elle s'entendre comme un concept univoque ? L'affirmation est-elle uniquement hasardeuse ou peut-elle se fonder théoriquement ? La confrontation aux faits la confirme ou l'infirme-t-elle ?

En conclusion, si le concept de convergence paraît intuitivement simple et largement utilisé dans de nombreuses disciplines, ses approches méthodologiques de calcul en montrent cependant la complexité. Les écarts par rapport à la moyenne, la dispersion en cours d'évolution ou la focalisation commune vers un point, sont autant de visions qui, si elles traduisent approximativement la même réalité, ne sont pas moins différentes les unes des autres.

---

<sup>9</sup> Makris, G (2015), P. 57

<sup>10</sup> Jacquelain, (2004), p.1

<sup>11</sup> Gerschenkron (1953), P.9

Les différents concepts de convergence et leur caractérisation statistiques examinés dans les deux sections précédentes ont servi d'outils d'analyse de la convergence réelle. Depuis l'émergence de la zone euro, les travaux d'évaluation de la convergence entre les pays membres ont également recouru aux mêmes outils pour comparer les trajectoires des économies des pays de la zone euro. Par exemple, les outils de beta et sigma convergence ont été utilisés par de nombreux travaux pour étudier la convergence des critères de Maastricht (Polasek et Amplatz, 2003 ; Soukiazis et Castro, 2005).

Dans l'analyse du lien entre convergence et économie, la théorie néoclassique apparaît comme le cadre initial des travaux empiriques.

La diversité des outils d'investigation offre autant de moyens de comparaison des économies les unes par rapport aux autres au cours de l'évolution dans le temps.

### **Section 3 - Quelques études empiriques de la convergence à partir du modèle de Solow**

Les tests de convergence qui s'inspirent de la théorie néoclassique reposent sur l'hypothèse que les outputs sont reliés aux inputs selon une forme fonctionnelle, le plus souvent, de type Cobb-Douglass. La mise en œuvre des tests supposait la disponibilité de données sur les outputs et les inputs des différents pays. Après l'utilisation de données nationales et la première la base de Maddison, l'étendue des tests a ainsi découlé de l'existence de bases de données couvrant des périodes plus longues et des espaces économiques plus larges. La diversité de la qualité des données a permis une grande variété de tests économétriques, de plus en plus sophistiqués dont les résultats ne se confortent pas toujours (Islam, 2003 ; Battisti, al., 2013 ; Eberhardt et Teal, 2013).

Nous nous arrêterons surtout sur les approches de la  $\beta$ -convergence : inconditionnelle de Barro et Sala-i-iMartin (1992), conditionnelle de Mankiw, Romer et Weil (M-R-w) (1992) et de Islam (1995). En mettant en évidence les hypothèses sur lesquelles elles reposent et comment elles se déduisent l'une de l'autre conduisant à mettre en lumière la différence de progrès technique comme facteur explicatif des écarts de PIB per capita entre les pays.

Alors que l'approche de Barro et Sala-i-Martin repose sur la théorie néoclassique standard, celle de Mankiw, Romer et Weil, tout comme celle de Islam découlent de l'approche endogène de la croissance. L'évolution des méthodes empiriques semble être intimement liée à celle de la théorie elle-même.

### 3.1 - La $\beta$ -Convergence inconditionnelle par séries chronologiques : L'approche de Barro et Sala-i-Martin (B-S) (1992)

Parmi les premiers tests de la  $\beta$ -convergence qui éveillèrent l'intérêt de l'hypothèse de convergence, celui de Baumol (1986) est de la forme simple :  $y_{i_0-T} = \alpha - \beta y_{i_0}$ . Il voulait prouver que les revenus par heure de travail des 16 pays les plus industrialisés convergent entre 1870 et 1979. Mais ses conclusions furent contestées : De Long (1987) lui reproche un biais de sélection. Son échantillon ne pouvant s'étendre à d'autres pays sans compromettre sa conclusion. Baumol et Wolf (1988) ont alors repris leur étude en tenant compte de cette critique et concluent qu'il existait plusieurs sous-groupes au sein desquels la convergence s'observait. En analysant plus profondément ce résultat, De Long a, de nouveau estimé que ce phénomène de club-convergence, reposait plus sur des critères d'appartenance à des groupes sociaux (protestants, catholiques, etc.) que sur les données macroéconomiques des pays.

La  $\beta$ -convergence inconditionnelle ou absolue traduit le fait qu'un pays pauvre tend à croître plus vite qu'un pays riche. Ce que Barro et Sala-i-Martin (1992) expriment sous la forme de l'équation :

$$\frac{1}{T} \ln \left( \frac{y_{i,t+T}}{y_{i,t}} \right) = \alpha - \beta \ln(y_{i,t}) + \varepsilon_{i,t} \quad (27)$$

Avec  $\beta > 0$  et  $y_{i,t}$  le PIB/hbt du pays  $i$  à la date  $t$  ;  $T$  la sous-période que couvre le test. Une longue période pouvant être subdivisée en sous période de 5 ans par exemple.

A partir de l'équation fondamentale du modèle néoclassique et utilisant une fonction Cobb-Douglas, ils décrivent la dynamique de la transition vers l'état régulier sous la forme :

$$\frac{1}{T} \log \left( \frac{y_T}{y_0} \right) = x + \frac{1 - e^{-\beta T}}{T} \log \left( \frac{y^*}{y_0} \right) \quad (28)$$

Où :

- $y_T$  et  $y_0$  sont respectivement les revenus par tête entre les dates 0 et T;
- $y^*$  est le revenu par tête d'équilibre,
- $\beta$  est le coefficient qui relie le revenu par tête entre les deux dates,
- $x$  est le taux de croissance exogène du capital humain.

Dans l'équation (28), plus  $\beta$  est élevé, plus le taux de croissance moyen permet de réduire l'écart entre  $y^*$  et  $y_0$ ; ainsi, plus vite se fait la convergence vers l'état régulier. La convergence traduit comment  $y^*$  est en relation avec  $y_0$  et  $x$  au cours du temps. Cette relation se traduit encore mieux sous la forme :

$$\log\left(\frac{y_{it}}{y_{i,t-1}}\right) = a_i - (1 - e^{-\beta}) \cdot [\log(y_{i,t-1}) - x_i(t-1)] + u_{it} \quad (29)$$

Avec :

- $a_i = x_i + (1 - e^{-\beta}) \log(\hat{y}_i^*)$ , représentant le progrès technique qui favorise la convergence vers l'état régulier. B-S font l'hypothèse que  $a_i = a$  et  $x_i = x$  (progrès technique incorporé au capital humain) sont les mêmes pour tous les pays. Les pays auraient le même taux de progrès technique incorporé au capital physique et humain.
- $u_{it}$  est un terme d'erreur de moyenne nulle et de d'écart type  $\sigma_t^2$ .

Afin de tester la convergence entre les 48 états des USA et sur une longue période découpée en sous périodes, les auteurs réécrivent l'équation de régression pour l'étude de  $\beta$ -convergence absolue entre deux dates,  $t_0$  et  $t_0+T$  utilisable avec des séries chronologiques :

$$\frac{1}{T} \log\left(\frac{y_{i,t_0+T}}{y_{i,t_0}}\right) = B - \frac{1}{T} (1 - e^{-\beta T}) \cdot [\log(y_{i,t_0})] + u_{i,t_0,t_0+T} \quad (30)$$

Avec,  $B = x + \frac{1}{T} [(1 - e^{-\beta T}) \cdot \log(\hat{y}^*) + xT]$ , un terme constant indépendant du pays, puisque l'état régulier est supposé être le même pour tous les pays. Le coefficient  $-\frac{1}{T} (1 - e^{-\beta T})$  qui baisse à mesure que l'économie s'approche de son état régulier du fait de l'hypothèse des rendements

marginaux décroissants, permet à l'équation (30) de se réécrire sous la forme standard de la  $\beta$ -convergence inconditionnelle :

$$\frac{1}{T} \log \left( \frac{y_{iT}}{y_{i0}} \right) = a - \tilde{\beta} (\hat{y}_i - y_{i0}) + u_{i0,T} \quad (31)$$

Avec  $\tilde{\beta} = \frac{1}{T}(1 - e^{-\beta T})$ , qui exprime la vitesse estimée à laquelle converge le revenu au cours du temps ; telle qu'une valeur positive de  $\beta$  accroît d'autant la relation négative entre la croissance au cours du temps et son niveau initial, caractérisé de  $\beta$ -convergence absolue tel que Sala-i-Martin (1996) l'écrit : « *We say that there is absolute  $\beta$ -convergence if poor economies tend to grow faster than rich ones<sup>12</sup>* », traduisant ainsi une dynamique de convergence à l'intérieur d'une seule et même économie sans allusion à une possible comparaison entre pays.

Pourtant, l'un des grands intérêts de l'étude de convergence était de parvenir à prouver que les pays pauvres connaîtraient un taux de croissance supérieur à celui des pays riches à mesure qu'ils accumulaient du capital et amélioreraient plus rapidement leur productivité. Ainsi l'équation (31) était utilisée pour tester la convergence entre pays. L'enjeu n'était plus de savoir comment une économie résorbait son écart d'avec son état régulier ; mais plutôt comment les pays pauvres comblaient leur écart de croissance d'avec les pays riches, d'où le nécessaire recours aux données de cross-section.

Le paramètre  $\tilde{\beta}$  qui estime la vitesse de convergence d'une économie vers son état régulier s'est commué en estimateur de la vitesse à laquelle les pays plus éloignés de l'état régulier rattraperaient ceux qui en étaient plus proche. Sous l'hypothèse d'un état stationnaire commun à tous les pays, cette interprétation pouvait être bien appropriée ; mais dans le cas d'une convergence conditionnelle, elle posait des difficultés de validité. Du fait de la différence des états réguliers, les vitesses de convergence ne pouvaient être supposées identiques et toute comparaison était difficile (Durlauf et Quah, 1998). Entre la convergence *ad intra* et celle *ad inter*, l'interprétation du paramètre de la vitesse crée un débat ; moins apparente tant qu'aucun recours n'était fait à un cadre théorique formel. Avec la diversité des conditions initiales (taux

---

<sup>12</sup> Sala-i-Martin (1996), P.1020

d'épargne, de croissance démographique et de progrès technique) contenues dans le cadre formel néoclassique, l'approfondissement de l'équation de régression permettrait une meilleure lecture de la vitesse et un éclairage nouveau sur la comparaison internationale de la convergence conditionnelle.

Utilisant cette régression pour tester la convergence entre les régions des USA, Barro et Sala-i-Martin (1992), font l'hypothèse d'un état régulier commun, il en résulte une convergence absolue et une vitesse de convergence proche de 2%. A la différence de B-S, Holtz-Eakin (1993) teste la convergence entre les Etats Nord-américains, sous l'hypothèse d'économies ouvertes, entre lesquelles les taux d'investissement peuvent ne plus être égaux au taux d'épargne à cause des flux de capitaux. Dès lors, les mesures budgétaires peuvent donc influencer les économies. Il en conclut que bien qu'il soit possible d'envisager une technologie commune entre les Etats, l'hypothèse d'un même état régulier doit être relâchée. Il trouve une vitesse de  $\beta$ -convergence conditionnelle de 4% par an.

Au sujet des tests, de convergence par groupes de pays ou club-convergence (moins fréquents dans la littérature), Durlauf et Johnson (1995) supposent une productivité marginale variable en fonction du niveau de développement économique, une différence entre les technologies et des états réguliers spécifiques entre les pays. Mais la difficulté de trouver des critères de discrimination des groupes ne permet pas de cibler des clubs de convergence bien distincts.

### 3.2 - La $\beta$ -convergence conditionnelle, en cross-section : L'approche de Mankiw, Romer et Weil

Mankiw, Romer et Weil (M-R-W) (1992) partent de l'équation du revenu par heure travaillée du modèle de Solow avec progrès technique, soit :

$$\ln\left(\frac{Y}{L}\right) = a + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta) + \varepsilon \quad (32)$$

Leur approche considère que les paramètres  $n$  et  $s$  sont supposés différents d'une économie à l'autre. Par contre, les autres  $\alpha$ ,  $g$  et  $\delta$  sont supposés communs, et les différences éventuelles comprises dans le paramètre  $a$  sont supposés être contenues dans  $\varepsilon$ , qui est alors indépendant de  $s$  et  $n$ . Ceci leur permet une estimation par les moindres carrés ordinaires. M-R-W trouvent qu'avec  $s$  et  $n$  comme uniques variables explicatives, le modèle produit une vitesse de

convergence trop faible et une valeur trop élevée de  $\alpha$  (entre 0.8 et 0.68). Dès lors, ils décident d'adopter une fonction de production comportant un facteur de progrès technique incorporé au travail :

$$Y_t = K_t^\alpha H_t^\beta A_t L_t^{(1-\alpha-\beta)} \quad (33)$$

Où H est le stock de capital humain (les autres variables restent définies comme précédemment), avec l'hypothèse des rendements décroissants :  $\alpha + \beta < 1$ .

En notant par  $s_k$  la part du revenu investi dans le capital physique et par  $s_h$  celle investit dans le capital humain, l'équation fondamentale de l'accumulation de Solow comprend deux termes :

- L'accumulation du capital physique :  $\dot{k}_t = s_k y_t - (n + g + \delta)k_t$ ,
- L'accumulation du capital humain :  $\dot{h}_t = s_h y_t - (n + a + \delta)h_t$ .

En posant  $h = \frac{H}{AL}$  comme la quantité de travail par unité de travail effectif, on tire les solutions à l'état régulier,

$$k^* = \left( \frac{s_k^{1-\beta} s_h^\beta}{n + g + \delta} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}}$$

$$h^* = \left( \frac{s_k^\alpha s_h^{1-\alpha}}{n + a + \delta} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}}$$

L'équation du taux de croissance du revenu par heure travaillée devient :

$$\ln(y_t) = \ln(A_0) + a_t + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s_k) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta) + \frac{\beta}{1-\beta} \ln(h^*) \quad (34)$$

Cette formulation relève de la théorie de la croissance endogène et ne partage donc plus l'hypothèse des rendements décroissants. Elle laisserait croire qu'une différence de taux d'épargne entre pays conduirait à des différences de taux de croissance. Ceux qui épargnent plus, croissent d'avantage et ceux qui épargnent moins pourraient ne pas avoir des taux de croissance qui leur permette de converger vers les premiers.

De l'équation (34) M-R-W tirent l'équation de régression du test de  $\beta$ -convergence conditionnelle en cross-section :

$$\ln(y_t) - \ln(y_0) = (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta} \ln(s_k) + (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta} \ln(s_h) - (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\alpha + \beta}{1 - \alpha - \beta} \ln(n + g + \delta) - (1 - e^{-\lambda t}) \ln(y_0) \quad (35)$$

Avec  $\lambda = (n + g + \delta)(1 - \alpha - \beta)$  la vitesse annuelle de convergence de l'économie. Ce taux de convergence met un nombre d'années  $t = \frac{\ln 2}{\lambda}$  pour résorber la moitié de la distance qui le sépare de son état régulier.

Avec ce modèle, ils utilisent la méthode des moindres carrés ordinaires pour estimer le taux de croissance du revenu par heure travaillée, en justifiant leur choix par trois raisons :

- En premier lieu, il s'agit d'une méthode communément utilisée dans d'autres études de modèle de croissance, à partir du moment où  $s$  et  $n$  sont endogènes, mais avec selon des préférences iso-élastiques ; alors  $n$  et  $s$  sont indépendants de  $\varepsilon$ .
- Ensuite, cette hypothèse dite « d'identification » permet de tester diverses hypothèses informelles contenues dans le modèle, concernant la relation entre le revenu, l'épargne et la croissance de la population.
- Enfin, puisque la spécification porte non seulement sur le signe du coefficient mais également sur son amplitude, le résultat de la régression permet de tester simultanément la validité de l'hypothèse de Solow et celle de l'hypothèse d'identification.

M-R-W, appliquent leur méthode à un échantillon composé de 98 pays dans lesquels l'exportation de pétrole est l'industrie la plus importante, 75 pays intermédiaires, et 22 pays de l'OCDE, sur des données couvrant la période 1963-1985. Alors qu'en utilisant le modèle de B-S et M-R-W n'obtenaient que des résultats mitigés, l'application de leur modèle donne de bien meilleurs résultats : le capital humain explique à presque 80% les variations du revenu par heure travaillée. La productivité des pays diffère en fonction de leur niveau de capital humain, et le taux de croissance des pays mieux doté en capital humain est de nouveau plus rapide que celui

des pays moins dotés. Ils obtiennent une vitesse de convergence de 2% et celle du paramètre  $\alpha$  baisse n'est plus que 0.48. L'hypothèse de  $\beta$ -convergence conditionnelle s'en trouve confortée. Cependant, entre les nombreuses études conduites sur la base de l'approche de M-R-W (Islam, 2003) il n'y a pas de consensus sur les valeurs précises que prennent les paramètres structurels de l'équation.

De plus, comme le fait remarquer cet auteur, l'approche en cross-section ne permet pas de distinguer ces paramètres structurels entre les pays ; alors même que les différences entre les économies les attestent.

Aussi Islam (1995) formule trois critiques contre le modèle de M-R-W (1992) :

- Premièrement, l'hypothèse d'iso-élasticité des préférences n'est qu'une restriction supplémentaire. Car en général  $\varepsilon$  (équation 32), le terme de technologie spécifique au pays est probablement corrélé à l'épargne et à la population.
- Deuxièmement, à partir du moment où par  $A_{(0)}$  (équation, 34) on comprend à la fois la technologie mais aussi toute la dotation en ressources diverses (climat, institution, géographie etc.), il n'est pas absolument certain que les comportements d'épargne et de fécondité soient absolument indépendants de ce terme. Il est donc difficile de concevoir  $A_{(0)}$  comme uniquement corrélé à  $\varepsilon$  ; ceci engendre le problème dit de la variable omise.
- Troisièmement, ce qui importe dans cette méthode de régression en données transversales est que l'hypothèse d'indépendance ne sert que la cause de l'outil économétrique, parce que les moindres carrés ordinaires (MCO) ne peuvent s'appliquer que sous cette hypothèse. Une autre possibilité aurait été de reconnaître la corrélation et d'utiliser des variables instrumentales pour l'estimation. Mais vue la nature de  $A_{(0)}$ , trouver des variables qui soient corrélées mais différentes n'est pas chose facile.

Il en conclut que l'approche en données de panel offre un cadre bien mieux approprié pour traiter du terme  $\varepsilon$  et de la différence de technologie entre les pays.

### **3.3 - La convergence conditionnelle, par la méthode en données de panel : L'approche d'Islam**

Dans le modèle originel de la théorie néoclassique de la croissance, la convergence porte sur le revenu par unité effectif de travail. Or dans la pratique, les tests empiriques s'en sont servis pour tester le revenu per capita. De sorte que les paramètres technologiques  $A_0$  et  $g$  au lieu de traiter de la productivité décrivent plutôt comment la convergence des revenus *per capita* est expliquée

par l'intensité capitaliste et la diffusion de la technologie. L'analyse de la convergence doit donc privilégier l'approche par la productivité telle qu'elle est expliquée par cette double source de rapprochement des économies. Ce que l'approche en cross-section ne fait pas, étant donné qu'elle suppose une similarité des technologies entre les pays. Cette homogénéité technologique supposée par M-R-W, tient à la difficulté de mesurer le terme  $A_0$  et de trouver une solution au problème de la variable omise (Islam, 2003). Ce à quoi l'approche en panel va tenter de résoudre.

Pour son approche en données de Panel, Islam (1995) rattache son raisonnement à celui de M-R-W (1992). Mais s'en distingue par l'hypothèse d'une différence de technologie entre les pays, comportant un terme spécifique au pays sous la forme :

$$A_{i,t} = A_{i,0} e^{gt}$$

La dynamique transitoire entre deux instants  $t_2$  et  $t_1$  peut donc s'écrire :

$$\begin{aligned} \ln(y_{t_2}) = & (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(s) - (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(n + g + \delta) + e^{-\lambda\tau} \ln(y_{t_1}) \\ & + (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(A_0) + g(t_2 - e^{-\lambda\tau} t_1) \quad (36) \end{aligned}$$

Où l'effet du progrès technique spécifique au pays est le terme  $(1 - e^{-\lambda\tau}) \ln(A_0)$  invariant tout au long de la période. L'équation (36) permet l'écriture de la régression de test de la  $\beta$ -convergence conditionnelle en données de panel, telle que :

$$y_{it} = \gamma y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^2 \beta_j x_{it}^j + \eta_i + \mu_i + v_{it} \quad (37)$$

$$\text{Avec : } y_{it} = \ln(y_{t_2}); y_{i,t-1} = \ln(y_{t_1}); \gamma = e^{-\lambda\tau}; \beta_1 = (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \beta_2 = -(1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha};$$

$$x_{it}^1 = \ln(s); x_{it}^2 = \ln(n + g + \delta); \mu_i = (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln(A_0)_i; \eta_i = g(t_2 - e^{-\lambda\tau} t_1),$$

Avec  $v_{it}$  un terme d'erreur transitoire, de moyenne nulle, différent d'un pays à l'autre et entre les sous période. Parce que les variables exogènes  $x_i^j$  peuvent être corrélées à  $y_{it}$ , elles sont réduites à une valeur moyenne  $\bar{x}_i$  afin de permettre une estimation par la distance minimale, grâce à l'équation :

$$y_{it} = \gamma y_{i,t-1} + \beta x_{it} + \eta_t + \mu_i + v_{it} \quad (38)$$

$$\text{Où } \beta = (1 - e^{-\lambda\tau}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \text{ et } x_{it} = \ln(s) - \ln(n + g + \delta) \cdot$$

A la différence de M-R-W (1992) qui prennent  $n$  comme le taux de croissance de la population en âge de travail, Islam le prend comme celui de la croissance de la population entière. Surtout, l'approche en données de panel prend en compte l'effet spécifique-pays du progrès technique dans chaque pays avec  $\mu_i = (1 - e^{-\lambda\tau}) \ln(A_0)_i$ . Ces effets sont rapportés à une valeur minimale de progrès technique et définissent ainsi des indices de progrès de techniques  $A_0$  qui mesurent l'efficacité avec laquelle les pays transforment leurs capitaux ( $K, L$ ) en facteurs de production.

Ce qui en fait un concept très proche de celui de la PGF. Les effets spécifiques  $A_{0i}$  participent donc à la croissance comme de réels facteurs de production. Cependant, dans cette approche, les effets spécifiques sont non seulement corrélés au niveau du revenu initial ; mais aussi à celui du taux de croissance de l'économie. La corrélation du taux avec le niveau initial du revenu par tête est exprimée par l'équation intégrant le ratio  $k = K / L$  :  $y_i = (A_0 e^{gt})^{1-\alpha} k_i^\alpha$  ; avec un état régulier lui aussi dépendant de  $A_{0i}$  :

$$y_i^* = A_0 e^{gt} \left( \frac{s}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$$

Il en résulte aussi un taux de croissance du revenu par unité effectif dépendant également de l'effet spécifique :

$$\frac{y^*}{y_0} = A_0^\alpha e^{gt} \left[ \frac{(s / (n + g + \delta))^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}}{k_0^\alpha} \right]$$

Une valeur plus élevée du progrès technique affecte le niveau du revenu par unité de travail de même que le taux de croissance de cette grandeur, donc sa vitesse de convergence vers l'état régulier. En conséquence, les pays ayant des niveaux de progrès technique différents ne convergeraient pas vers le même état régulier, tandis que l'accélération du progrès technique d'un pays ayant une technologie peu avancée lui permettrait de croître plus vite que les pays précédemment mieux dotés.

---

Cette spécification isole mieux le progrès technique dans l'ensemble des facteurs déterminants de la croissance et influençant la convergence entre les économies.

Ainsi, l'approche en panel éclaire mieux la différence des niveaux initiaux de dotation en capital ainsi que la technologie propre à chaque pays à l'origine de la vitesse de convergence. La différence de progrès technique pouvant aller du simple au triple dans l'analyse comparative des pays (Islam 1995).

L'approche en données de panel permet, même sur des sous-périodes de temps relativement courtes, de prendre en compte les spécificités de chaque pays dans l'analyse de la convergence des économies. En l'appliquant sur le même échantillon et la même période que M-R-W, Islam (1995) trouve un  $\lambda = 0.067$  et un  $\alpha = 0.2972$ ; l'un et l'autre plus proches de ceux de Knight et al. (1993), respectivement de 0.065 et 0.335 et qui constituent des valeurs communément admises.

Si l'approche en panel admet l'hétérogénéité du progrès technique  $A_{oi}$  elle conserve au taux de croissance du progrès technique  $g$  sa caractéristique d'être commun à tous les pays. Ceci s'inscrit bien dans l'approche exogène de la croissance, puisque celle-ci a initialement servi à tester la convergence interne d'une économie vers son état régulier ; concevant la technologie comme un bien public. Dès lors que la prise en compte du capital humain induit une hétérogénéité des états réguliers, la méthode conduisait automatiquement à relâcher l'hypothèse de l'homogénéité des taux des croissances de la technologie. L'hétérogénéité des états réguliers a été scrutée par Lee et al. (1997) ; ils obtiennent une vitesse de convergence de 2,6% supérieure au 2% ordinaire, mais ne rapporte pas leur coefficient de capital, qu'ils jugent cependant trop bas par rapport à la norme. En examinant la convergence des productivités sous l'hypothèse d'une différence des taux de croissance de la technologie, certains auteurs (Bernard et Jones C.I 1996 ; Binder et Pesaran, 1999 ; Mcquinn et Whelan, 2007) trouvent une vitesse sept fois plus rapide que celle ordinairement admise. Cet écart de résultat atteste de la difficulté de s'affranchir de l'hypothèse d'homogénéité de l'état régulier et d'élucider la question de l'hétérogénéité des taux de croissance technologiques entre les pays.

Islam (1995) soulève lui-même les trois défis méthodologiques majeurs que son approche devrait relever.

Premièrement, les effets spécifiques aux pays sont-ils à traiter comme fixes ou aléatoires ? Comme aléatoires ils ne seraient pas corrélés aux variables exogènes du modèle, alors que le principe même de l'approche conditionnelle repose sur la corrélation entre les variables et leurs effets spécifiques par pays.

Deuxièmement, l'estimateur des moindres carrés avec des variables « *dummy* » repose sur l'hypothèse d'effets fixes et de la nature exogène des variables explicatives. Or un des problèmes de l'équation de convergence est lié à son caractère dynamique ; ce qui réfute l'absence d'erreurs sur les variables explicatives et l'utilisation du modèle à effets fixes.

Troisièmement, afin de comparer son modèle à celui de M-R-W, Islam utilise les mêmes données et trouve une vitesse de convergence plus élevée ainsi qu'une élasticité du revenu par tête par rapport au capital plus forte. L'explication de cet écart avec les résultats de M-R-W réside en partie dans la différence d'approche du progrès technique. L'effet spécifique qui prend en compte une dimension qualitative de la particularité des pays n'est malheureusement pas quantifiable.

De même qu'islam reprochait à l'approche de la convergence conditionnelle de M-R-W d'éveiller quelques critiques, son approche en données de panel soulève, elle aussi, trois problèmes majeurs dans sa mise en œuvre empirique.

D'abord, la question du biais d'endogénéité. Les économètres se servent des données de la même année pour calculer les taux de croissance de l'investissement et du travail utilisés comme variables explicatives de la production. Or ces données peuvent être corrélées les unes aux autres (Caselli et al, 1996 ; Islam, 2003), de sorte que l'impact entre variables exogènes et endogènes ne permette plus de bien mesurer la capacité explicative des variables de droite sur celle de gauche dans les modèles de régression.

Ensuite, l'éventuel biais des petits échantillons. En utilisant l'approche en données de panel, la plupart des méthodes statistiques de détermination des estimateurs reposent sur l'hypothèse d'une taille d'échantillon tendant vers l'infini et sur un horizon infini. De sorte que certains travaux utilisant des échantillons à taille réduite ne satisfont pas cette hypothèse. Le test préalable de cette hypothèse est une condition nécessaire de la validité des conclusions qui en découlent (Islam, 2003).

Enfin, l'approche en panel recourt à des sous-périodes de 5 ans plutôt que les 25 ans qu'utilise l'approche en cross-section. Ce qui, selon certains auteurs, met plus en évidence les variations internes aux économies plutôt qu'entre les pays. Cette question dite des fréquences courtes serait contournée du fait de l'imbrication des courtes sous-périodes sur une longue durée. Cependant, ce découpage reste préférable à celui d'année par année qu'utilisent les approches de séries temporelles.

Le socle théorique sur lequel reposent les approches paramétriques leur confère une cohérence interne à l'approche néoclassique de la croissance. A mesure que les hypothèses deviennent moins contraintes, les méthodes économétriques donnent des résultats que confortent les faits économiques. Toutefois, ces approches souffrent de diverses limites d'estimation économétriques et surtout de la tension entre analyse la convergence intra et inter économies. Limites que les approches des séries chronologiques et des fonctions de distribution tentent de dépasser.

#### **Section 4 - L'analyse de la convergence par les approches des séries chronologiques et de la distribution de la $\sigma$ -convergence**

Nous évoquerons sommairement deux approches alternatives de l'examen de la convergence du PIB/hbts : d'une part l'approche des séries chronologiques et d'autre part celle des fonctions de distribution.

L'analyse de la convergence par l'approche des séries chronologiques offre le moyen d'examiner à la fois la convergence ad-intra et ad-inter des économies. En recourant au test de racine unitaire ou en utilisant un vecteur de variables, elle permet une étude de la  $\beta$ -convergence absolue et conditionnelle. Quant à l'analyse par la distribution de la  $\sigma$ -convergence ; comme son nom l'indique, elle s'intéresse à examiner les caractéristiques de la dispersion autour de la moyenne au cours de processus de convergence.

Ces deux types d'approches sont abondamment utilisés dans littérature de l'étude de la convergence (Islam, 2003 ; Fleissig et Strauss, 2001).

## 4.1 - L'étude de la convergence par l'approche des séries chronologiques

L'approche des séries chronologiques est une réponse au débat entre le test de convergence d'une économie et celui comparant des économies entre elles. Elle utilise une équation d'analyse de la dynamique de la réduction des écarts de production au fil du temps. Trois formes sont habituellement utilisées :

### 4.1.1 L'analyse de la $\beta$ -convergence par l'approche des séries chronologiques

En partant de la forme générale de l'équation du test de la  $\beta$ -convergence des données de panel, telle que  $y_{it} = (1 + \beta)y_{i,t-1} + \beta\psi x_{i,t-1} + \eta_{it} + \varepsilon_{it}$ , l'approche des séries chronologiques s'intéresse à la dynamique du  $\eta_{it}$  dont la valeur dans l'équation (37) est  $\eta_t = g(t_2 - e^{-\lambda\tau} t_1)$ . Après aménagement de l'équation précédente, l'expression devient  $\eta_t = (1 + \beta)g - \beta g t$  en fonction de quoi on exprime la croissance sous la forme :

$$y_t = \mu - \beta g t + (1 + \beta) y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (39)$$

Dans cette équation (39) dite de Dickey-Fuller (1979), la convergence se reconnaît à la valeur négative de  $\beta$  ; avec  $(1+\beta)$  toujours inférieur à 1. Ainsi, dès lors que l'hypothèse  $H_0: (1+\beta) = 1$ , ne peut être rejetée, on peut accepter l'hypothèse alternative  $H_1 = 0$  qui induit que  $\beta = 0$  ; ce qui fait conclure qu'il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse selon laquelle il n'y a pas de convergence. D'où l'appellation de test de racine unitaire. Le trend de l'équation (39) dépend de la spécification du terme de la technologie du modèle de croissance :  $A_t = A_0 e^{gt}$ . En fonction de l'hypothèse sur la nature du trend ; deux approches sont possibles : à un trend déterministe sera appliqué un test de convergence déterministe, et à un trend stochastique, un test de convergence stochastique.

### 4.1.2 L'analyse de la convergence ad inter par l'approche des séries chronologiques

Puisque l'étude de la convergence est passée de l'analyse d'une économie à celle de l'examen de la convergence entre les économies, l'approche des séries temporelles s'est également attachée à analyser la convergence entre les économies en s'inspirant de l'équation :

$$\lim_{x \rightarrow \infty} E(y_{i,t+x} - a \cdot y_{j,t+x} | I_t) = 0$$

Ce qui laisse entendre qu'il peut y avoir convergence entre les pays, alors même qu'elle n'existe pas au sein de chaque économie. Cette approche recourt à deux méthodes :

- ***L'analyse de la racine unitaire***

L'analyse en racine unitaire teste l'invariance ou la stationnarité d'un processus. Par exemple, la convergence stochastique qui en résulte, caractérise la dynamique du PIB per capital. Alors  $y_{it}$  suit un processus stationnaire, dans lequel :  $y_{it} = Y_{it} - \bar{y}_i$ , Avec  $Y_{it}$  la valeur logarithmique du Y/L pour le pays  $i$  et, une moyenne. Le test de la convergence stochastique de Dickey-Fuller (1979) se fait selon l'équation :

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \rho_i y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^P \theta_{ij} \Delta y_{i,t-j} + e_{ij} \quad (40)$$

Avec,  $t = 1, \dots, T$  ;  $i = 1, \dots, N$  ;  $J = 1, \dots, P$ . L'hypothèse nulle signifie que  $y_{it}$  suit un processus non stationnaire et les séries ne convergent donc pas de manière stochastique. L'analyse de convergence peut se faire selon une grande diversité de tests de convergence par la méthode de la racine unitaire (voire Fleissig et Strauss, 2001). L'approche des séries temporelles s'est également intéressée à la convergence inconditionnelle et conditionnelle.

Mais les tests de racine unitaire de la réduction des écarts entre les économies ne permettent pas toujours de conclure, surtout dans le cas où les écarts sont estimés à partir d'un pays pris comme référent. Le rejet de l'hypothèse unitaire pour celui-ci ne permet pas toujours de décider, quand bien même il est concluant pour le pays comparé au pays de référence. Et dans le cas où les écarts sont estimés à partir d'une production moyenne, l'acceptation de l'hypothèse unitaire ne garantit pas qu'elle le soit pour tous les pays. Cette difficulté de décision a conduit à l'approche par la co-intégration à partir de la construction d'un vecteur autorégressif.

- ***L'analyse de la co-intégration par l'utilisation d'un vecteur autoregressif***

L'analyse de convergence consiste à examiner directement les propriétés des séries chronologiques plutôt que de déduire la convergence d'une relation négative entre le taux de croissance et son niveau initial. Les séries seront dites co-intégrées si les variables sont individuellement non stationnaires et s'il existe au moins une combinaison linéaire entre elles

qui puisse être stationnaire. Le test se référant à Johansen (1988, 1991) suit le vecteur autorégressif de la forme :

$$\Delta Y_t = \Gamma(L)\Delta Y_t + \Pi Y_{t-1} + \mu + \varepsilon_t \quad (41)$$

Avec,  $\Gamma_i = -(A_{i+1} + A_{i+2} + \dots - A_k)$ ,  $i = 1, \dots, k-1$  et  $\Pi = -(I - A_1 - \dots - A_k)$

Où  $\Pi$  représente la relation de long-terme entre les séries individuelles et  $\Gamma(L)$  retrace les impacts de court terme des chocs sur le système. Puisque l'étude porte sur le long terme, l'intérêt porte sur le vecteur  $\Pi$  qui pourrait se réécrire tel que :  $\Pi = \alpha\beta'$ . Le test est donc celui de savoir si le vecteur est de la forme  $(1, -1)$  ou  $(1, a)$  ;  $a$  étant une constante.

L'approche en séries chronologiques est bien une méthode de test de convergence conditionnelle, tout comme le sont les approches par données de panel, à ceci près qu'elle ne se réfère pas explicitement à un modèle de croissance économique (Islam 2003).

#### 4.2 - L'étude de la convergence par l'approche de la distribution

Tandis que les approches précédentes traitent surtout des différentes formes de  $\beta$ -convergence, l'approche par la distribution s'intéresse davantage à la  $\sigma$ -convergence et aux variations de la distribution des revenus entre les pays. Selon Sala-I-Martin (1996) : « *a group of economies are converging in the sense of  $\sigma$  if the dispersion of their real per capita GDP levels tends to decrease over time*<sup>13</sup> ». Ce qui s'exprime par :

$$\sigma_{t+T} < \sigma_t \quad (42)$$

Où  $\sigma_t$  désigne l'écart type en  $t$  des  $\ln(y_{i,t})$  du pays  $i$  ; une réduction des écarts types signifie la convergence. L'approche de la distribution s'attache donc à examiner la réduction progressive de cet écart entre les pays afin de juger de leur convergence ou pas.

Deux axes constituent l'apport de cette approche aux travaux sur la convergence. Le premier s'attache à mettre en évidence la relation entre la  $\beta$  et  $\sigma$ -convergence. Si dans l'équation de

---

<sup>13</sup> Sala-I-Martin (1996), p.1020

régression du test de convergence abstraction est faite de tous les autres termes exceptés  $y_{i,t-1}$  et  $\varepsilon_{it}$ , l'évolution de l'écart type  $\sigma_t^2$  de  $y_{i,t}$  peut s'écrire :

$$\sigma_t^2 = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \tilde{\beta}^2} \left( \sigma_0^2 - \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \tilde{\beta}^2} \right) \tilde{\beta}^{2t}; \text{ avec } \tilde{\beta} = (1 + \beta) \quad (43)$$

Quand  $t \rightarrow \infty$ , alors  $\sigma_t^2 = \frac{\sigma_\varepsilon^2}{1 - \tilde{\beta}^2}$  à l'état régulier ; croissant avec  $\sigma_\varepsilon^2$  et décroissant en  $\beta$ . Cette

équation (43) révèle deux résultats principaux : d'une part ;  $\sigma_t^2$  peut croître ou décroître de manière monotone vers  $\sigma_\infty^2$  selon que  $\sigma_0^2$  est inférieur ou supérieur à la valeur stationnaire de  $\sigma_\infty^2$  ; d'autre part, un  $\beta$  négatif ne garantit pas une baisse de variance ; on en déduit qu'une  $\beta$ -convergence n'est pas une condition suffisante d'une  $\sigma$ -convergence.

Le deuxième axe est l'étude de l'évolution de la distribution en coupe transversale : Elle consiste à l'étude de la masse de probabilité en fonction des quantiles en recourant à la matrice de transition de Markov, soit  $F_{t+1} = MF_t$  ; où  $F_t$  est la distribution en  $t$  et  $F_{t+1}$  celle en  $t+1$ . L'objectif est de connaître  $M$ , la matrice de transition de  $F_t$  en  $F_{t+1}$ . En admettant que  $M$  reste inchangé au cours de la période on peut écrire :

$$F_{t+s} = M^s F_t \quad (44)$$

L'exposant «  $s$  » représentant toute période de temps ; quand  $s \rightarrow \infty$ , la distribution tend vers sa valeur stationnaire.

Afin de contester l'hypothèse de la convergence du modèle de Solow, Quah (1993, 1995) utilise uniquement l'approche de la distribution qui le conduit à l'affirmation de la persistance des écarts entre pays ou tout au moins à une convergence entre pays ayant les mêmes préférences. Dans ce cas-ci, il s'agirait d'une convergence entre pays partageant les mêmes caractéristiques, d'où l'idée d'une club-convergence, ou convergence bimodale, « *twin peak* ». L'approche par la distribution de probabilité ne se réfère pas à un modèle théorique de croissance économique.

## Section 5 - Quelques tests de la $\beta$ -convergence entre les économies européennes

Les économies européennes ont fait l'objet, et encore plus depuis la création de l'euro, de nombreux tests de  $\beta$ -convergence absolue et conditionnelle (Hans et Matthias, 2007 ; Borsi et Metiu, 2013 ; Dauderstädt, 2014). Les études couvrent des périodes différentes, des échantillons de pays différents, et conduisent à des conclusions mitigées quant à la convergence ou à la divergence entre les pays de la zone euro.

L'équation de B-S (1992) de la  $\beta$ -convergence absolue ou inconditionnelle est utilisée par :

- Sala-i-martin (1996), pour tester la  $\beta$ -convergence absolue des niveaux de vie entre des régions et des pays de l'OCDE. Il se sert des données de périodes différentes en fonction des régions, et met en évidence l'existence d'une convergence entre les économies, caractérisée par une vitesse annuelle de 2%. Son étude conforte l'hypothèse prédite par Solow (1956) alors même que celle-ci commençait à être contestée (Friedman, 1994 ; Quah, 1993).
- Crespo-Cuaresma et al. (2013) étudient 28 pays de l'Union Européenne sur la période 1995-2009. Le test de  $\beta$ -convergence absolue montre que le taux de croissance du revenu per capita affichait une disparité, alors qu'il se situait entre 0.3% et 3.39% dans les 17 pays de l'Ouest, il se trouvait entre 3 et 5% dans les 11 pays de l'Est, avec une convergence plus marquée sur la période 2000-2005.
- Si sur l'ensemble des 15 ans, les pays de l'Union Européenne connaissent une convergence de leur niveau de vie, celle-ci est plus marquée entre Est et Ouest. Cette convergence de club était déjà constatée par Apergis et al. (2010) étudiant la convergence du revenu par employé, sur la période 1990 -2004, au sein de l'Union européenne. Sur les 14 pays, les résultats attestaient de l'existence de trois clubs : les régions Nord, le Centre et Sud.
- Utilisant la méthode de séries chronologiques et de données de panel, Palan et Shmiedeberg (2010) testent la  $\beta$ -convergence structurelle absolue des secteurs de l'agriculture, l'industrie et les services de 14 pays de l'Union Européenne entre 1970 et 2005. Utilisant des données intersectorielles et inter-industries, ils trouvent une tertiarisation continue entre les pays. Ceux qui avaient un fort secteur agricole en 1970 connaissent un phénomène de rattrapage, sans toutefois atteindre, en fin de période, le

niveau de ceux qui étaient déjà bien avancés. En revanche, au niveau inter-industrie, ils constatent une légère divergence. Ceci a une répercussion sur la convergence de la part de l'emploi entre les secteurs. Les industries qui connaissent traditionnellement une forte intensité de main d'œuvre ont vu leur part se réduire au profit des industries de haute et de moyenne technologie. Au niveau des services, la part de l'emploi a significativement baissé dans les services très qualifiés du fait de l'augmentation de la productivité grâce aux nouvelles technologies, par contre dans les services aux personnes et dans l'éducation elle est restée relativement stable.

- Les auteurs en concluent que: « *In total, however, European countries do not become more similar regarding the sector composition within the industry and service sectors; rather, some industries are found to converge over time, whereas others diverge or do not change at all* »<sup>14</sup>.

Les critères de Maastricht qui accompagnent l'avènement de l'euro et conditionnent l'entrée dans la zone monétaire européenne ouvrent de nombreuses opportunités aux tests de  $\beta$ -convergence conditionnelle (Estrada et al. 2013 ; Stojkov et Zalduendo, J. 2011 ; Soukiasis et Castro, 2005, etc.).

A titre d'illustration, nous présentons l'étude de Soukiasis et Castro (2005). Ces auteurs testent la convergence des niveaux de vie de 15 pays de l'Union Monétaire Européenne (EMU) entre 1980 et 2001, en utilisent l'approche de la  $\beta$ -convergence conditionnelle suivante :

$$\Delta(\ln y_{i,t}) = a_0 + \beta \ln y_{i,t-1} + a_1 BDG_{i,t} + a_2 DBT_{i,t} + a_3 INF_{i,t} + a_4 IR_{i,t} + a_5 VER_{i,t} + a_6 D_{1992-2001} + a_7 GK_{i,t}$$

Où  $y$  est le PIB/heure travaillée (PPA),  $BDG$  ratio du solde de budgétaire,  $DBT$  ratio de la dette publique,  $INF$  le taux d'inflation,  $IR$  le taux d'intérêt de long terme,  $VER$  la variation annuelle du taux de change,  $D_{1992-2001}$ , une variable *dummy* prenant la valeur 1 après l'année 1992, et la valeur 0 avant.  $GK$ , la croissance du ratio d'investissement ;  $GL$  la croissance du taux d'emploi.

---

<sup>14</sup> Palan, N. et Shmiedeberg, C. (2010), P. 85

Il en a résulté une vitesse de convergence de 2.3% ; soit 30 ans avant que la moitié de la différence entre les niveaux de vie ne se résorbe et les variables explicatives ont des effets contrastés sur la croissance :

- Le ratio du déficit public (*BDG*) a un effet positif sur la croissance, la réduction du déficit est favorable à la convergence des niveaux de vie au sein de la zone euro.
- Le ratio de la dette publique (*DBT*), n'a aucun effet sur la convergence.
- Le taux d'inflation (*INF*) a un effet négatif sur la croissance, puisqu'il affecte le pouvoir d'achat et la parité de pouvoir d'achat.
- Le taux d'intérêt (*IR*) n'impacte pas la convergence.
- Les variations du taux de change (*VER*) ont un effet négatif sur convergence l'économie de la zone euro.
- Le ratio d'investissement et le taux de l'emploi impacte positivement la convergence entre les pays, avec un effet plus important du taux de l'emploi,
- L'effet négatif de la variable *dummy* qui délimite l'euroland indiquerait que l'avènement de la monnaie unique n'est pas favorable à la convergence des économies des pays membres. Par exemple, entre 1980 et 1991, la vitesse de convergence est de 3% alors qu'elle n'est plus que de 2% entre la période 1992-2001. La mise en œuvre des critères de Maastricht aurait donc contribué à ralentir la convergence entre les pays Européens.

A une variable près, les auteurs utilisent la même méthode de régression pour estimer la convergence de la productivité du travail :

$$\Delta(\ln p_{i,t}) = a_0 + \beta \ln p_{i,t-1} + a_1 BDG_{i,t} + a_2 DBT_{i,t} + a_3 INF_{i,t} + a_4 IR_{i,t} + a_5 VER_{i,t} \\ + a_6 D_{1992-2001} + a_7 y_{i,t} + a_8 LR_{i,t} + u_{i,t}$$

Ils découvrent que la convergence de la productivité se réalise à la vitesse de 3-5% par an. Il faudrait entre 14 et 20 ans pour réduire de moitié les différences de niveau de productivité entre les pays de l'UME. Le test de convergence absolue n'a pas eu de résultat significatif de même, la convergence conditionnelle semble peu portée par les variables des critères de Maastricht et moins affectée par les variables structurelles du modèle :

- Aucune des variables de convergence nominale n'affecte la convergence des productivités à part l'inflation dont l'effet négatif semble important.

- L'effet positif important vient de deux variables structurelles : d'une part le taux de croissance du niveau de vie de l'année t-1, dont une hausse de 1% produit une accélération de la convergence des productivités de 0.5 point ; et d'autre part la variable *dummy*, qui montre que l'environnement macroéconomique créé par l'euro est favorable à la convergence.
- Mais la variable (*LR*) de la participation de l'emploi à la convergence des productivités connaît un effet négatif, impliquant qu'une réduction de l'emploi semble nécessaire pour favoriser l'intégration économique de la zone euro.

La convergence du taux d'investissement ( $i_{i,t}$ ) et celle du taux de chômage ( $U_{i,t}$ ) sont également analysées par les auteurs. A la régression du taux d'investissement, les auteurs ajouteront les variables expliquées  $\Delta \ln y_{i,t-1}$  et  $\Delta \ln l_{i,t-1}$  : la première est la variation du revenu per capita, représentant l'effet de la demande finale indispensable dans l'étude de l'investissement, et la deuxième qui prend en compte la formation de capital afin de mieux mettre en lumière la dynamique de l'accumulation du capital. Les effets des variables explicatives sur les différentes variables endogènes se présentent comme suit :

**Tableau-1 : récapitulatif de l'effet des critères de Maastricht sur de la convergence conditionnelle de 15 pays de la zone euro.**

Variables expliquées ↘ Variables explicatives	PIB/POP ( $Y_{i,t}$ )	PIB/Emploi ( $p_{i,t}$ )	I/PIB ( $i_{i,t}$ )	Taux de chômage ( $U_{i,t}$ )
$Y_{i,t-1}$		négatif		
BDG	négatif	Sans effet	Sans effet	positif
DBT	négatif	Sans effet	Sans effet	Sans effet
INF	positif	positif	positif	Sans effet
IR	Sans effet	Sans effet	positif	négatif
VER	positif	Sans effet	positif	négatif
$D_{1992-2001}$	positif	négatif	positif	négatif
GK	négatif			
GL	négatif			
LR		positif		
$\Delta \ln y_{i,t}$			négatif	
$\Delta \ln l_{i,t-1}$			positif	positif
$U_{i,t-1}$				positif
$l_{i,t-1}$				positif

*Source : construit à partir de Soukiazis et Castro (2005)*



## CONCLUSION :

Depuis son énoncé par Solow, l'hypothèse de convergence est testée par des méthodes plus ou moins sophistiquées qui l'ont confortée à des degrés divers. Cependant si elle pouvait laisser croire que les pays moins riches convergeraient comme automatiquement vers les pays plus riches, il n'en demeure pas moins que certains pays relativement plus riches le restent longtemps et que les niveaux de vie d'autres pays peinent à se rapprocher de ceux des pays leaders. Toutefois quelques pays riches le sont de moins en moins et d'autres antérieurement pauvres connaissent une réelle amélioration de leur niveau de vie. Ce constat a préoccupé de nombreux chercheurs et justifié plusieurs travaux (Abramovitz, 1986 ; Verspagen, 1991 ; Fagerberg, 1995 ; Felipe et McCombie, 2005).

Dans l'approche de la théorie néoclassique de la croissance (Solow, 1956), les caractéristiques de la fonction de production confèrent à l'accumulation du capital de distinguer les pays les uns des autres. A partir du moment où le progrès technique est exogène et universellement accessible, que les pays partagent la même fonction de production, leur convergence/divergence peut provenir que de leur préférence pour l'épargne, de leur taux d'investissement et de leur croissance démographique. L'output par unité de travail effectif peut d'autant croître rapidement en fonction de la situation initiale du pays et de sa possibilité d'accroître son ratio  $K/L$ .

L'apport de la théorie endogène est d'avoir mis en évidence l'impact du capital humain (Mankiw, Romer et Weil, 1992) sur la convergence/divergence d'une économie vers son état régulier, ou de pays entre eux. L'amélioration de la qualité du facteur travail accroît la productivité de celui-ci. Les écarts de niveau de vie découleraient des écarts de productivité du capital humain. Cette caractéristique peut être tenue pour spécifique et expliquerait que les pays qui connaissent les meilleurs niveaux d'éducation, en améliorant leur productivité creusent l'écart avec les autres. Il est donc difficile de supposer que les pays partagent le même état régulier. Les plus riches peuvent continuer à le devenir en fonction de la qualification de leur capital humain, et les plus pauvres pourraient se voir à la traîne tant que le niveau de l'éducation ne permet pas à son facteur humain de contribuer à l'acquisition de la technicité suffisante pour en booster la productivité.

Les travaux empiriques utilisant l'approche en données de panel pour analyser les sources de la convergence des taux de croissance montrent qu'elles peuvent non seulement découler du progrès technique disponible mais également de l'environnement physique et humain qui conditionnent l'économie.

Les différences de niveau vie tiennent aux conditions économiques initiales des pays, mais tout autant de leur contexte géographique, institutionnel, social qui sont autant de composantes structurelles de la productivité (Temple, 1999 ; Taylor, 1999).

La différence entre les niveaux de vie est donc tributaire des écarts de productivité. En effet, les travaux empiriques de la comptabilité de la croissance concluent à une faible part de la croissance des seuls inputs dans l'explication de celle de l'output (Solow, 1957). La part non expliquée, mais élevée, alors attribuée au progrès technique est plus qu'un simple terme d'erreur. Elle se situe ainsi au cœur de l'explication des écarts des productivités comme une composante principale de la convergence/divergence entre les économies (Abramovitz, 1986 ; Verspagen, 1991 ; Halles et Jones, 1996). Aussi, tout comme le capital physique et/ou humain peut s'accroître en quantité et en qualité, la technologie aussi peut s'améliorer. La convergence/divergence pourrait être fonction de cette amélioration de l'efficacité grâce à la R&D, l'innovation et l'adoption ou l'imitation.

## BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE I

- Abramovitz, M. (1956). Resource and Output Trends in the U.S. since 1870. *American Economic Review*, 46 (2), 5-23.
- Abramovitz, M. (1986). catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. *The Journal of Economic History* vo.46 No 2, 385-406.
- Acemoglu, D (2000) Labor and Capital augmenting technical change, *NBER, W.P.* 7544
- Acemoglu, D. (2009). *Introduction to Modern Economic Growth*. Princeton: Princeton University Press.
- Acemoglu, D., et Robinson, J. (2006). Economic Backwardness in Political Perspective. *American Political Science Review*, 100, 115-131.
- Acikgoz, S., et Mert, M. (2014). Sources of Growth Redisited: The Importance of the Nature of Technological Progress. *Journal of Applied Economics*, Vo.17, Issue 1, 31-62.
- Aghion, P., et Howitt, P. (2009). *The Economics of Growth*. MIT Press.
- Alexiadis, S., Eleftheriou, K., et Nijkamp, P. (2013). Technology adoption within a search model: Evidence from OECD countries . *Economic Modelling*, Vol.33, 137-148.
- Antony, J. (2009). Capital/Labor Substitution, Capital Deepening and FDI. *Journal of Macroeconomics* 31, 169-181.
- Apergis, N., Panopoulou, E., et Tsoumas, C. (2010). Old Wine in a New Bottle: Growth Convergence Dynamics in the EU. *Atlantic Economic Journal*. 38, issue 2, 169–181.
- Barro, R. (1991). Economic Growth in a Cross-section of Countries. *Quarterly Journal of Economics*, 106, 407-43.
- Barro, R., et Sala-i-Martin, X. (1990). Economic Growth and Convergence across the United States. *NBER-Working Paper*, No 3419.
- Barro, R., et Sala-i-Martin, X. (1992). Convergence. *Journal of Political Economy* 100, 223–51.
- Barro, R., et Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth Second Edition*. London: The MIT Press Cambridge.
- Battisti, M., Di Vaio, G., et Zeira, J. (2013). Global Divergence in Growth Regressions. *CEPR Discussion Paper No. DP9687* .
- Baumol, W. (1986). Productivity Growth, Convergence and Welfare: What the Long Run Data Show? *American Economic Review* 76, 1072–85.
- Baumol, W., et Wolff, E. (1988). Productivity Growth, Convergence, and Welfare: Reply. *The American Economic Review*, Vol. 78, No. 5, 1155-1159.
- Bernard, A., et Durlauf, S. (1996). Interpreting Tests of the Convergence Hypothesis. *Journal of Econometrics* 71(1-2), 161-174.

- Bernard, A., et Jones, C. (1996). Comparing Apples to Oranges: Productivity Convergence and Measurement Across Industries and Countries. *The American Economic Review*, Vol.86, No.5, 1216-1238.
- Binder, M., et Pesaran, M. (1999). Stochastic Growth Models and Their Econometric Implications. *Journal of Economic Growth* 4,, 139–183.
- Borsi, M., et Metiu, N. (2013). The Evolution of Economic Convergence in the European Union. *Discussion Paper Deutsche Bundesbank No.208*.
- Boskin, M., et Lau, L. (2000). Generalized Solow-Neutral Technical Progress and Post-War Economic Growth. *NBER-Working Paper 8023*.
- Boucekkine, R., Del Río, F., et Martínez, B. (2009). Technological Progress, Obsolescence, and Depreciation. *Oxford Economic Papers New Series*, Vol. 61, No. 3, 440-466.
- Boussemart, J., et Leleu, H. (2008). Comparing TFP Catching-up and Capital Deepening in US and European Growth: A directional Distance Function Approach. *IESEG-LEM Document de Travail-01*.
- Braude, J., et Menashe, Y. (2004). Does the Capital Intensity of Structural Change Matter for Growth? *Bank of Israel Discussion Paper, No.10*.
- Briec, W. et Peypoch, N. (2010), *Microéconomie de la production, la mesure de l'efficacité et de la productivité*, Edition De Boeck, Bruxelles, 1ère Edition
- Bucci, A. (2009). Scale effects, Savings and Factor Shares in a Human Capital based Growth Model With Physical Capital Accumulation. *International Economic Journal*, Vol.23, No.3, 291-307.
- Cadoret, I., et Tavéra.C. (1999). La convergence Des économies Européennes,. Dans C. s. Croissance, *La convergence des Economies Européennes* (pp. Chapitre X, 256-294). Paris: Economica.
- Carnilo, G. M. (1993). Are US Regional Incomes Converging? A time Series analysis,. *Journal of Monetary Economics*, Vol.32, 335-346.
- Caselli, F., Esquivel, G., et Lefort, F. (1996). Reopening the Convergence Debate:A New Look at Cross-Country Growth Empirics. *Journal of Economic Growth* 1, 363-89.
- Charles, Y., et Dutier, G. (2010). *Optique Géométrique WIT-ISPG*. Villetaneuse: Institut Galilée.
- Crespo Cuaresma, J., Havettova,M.et Labaj, M. (2013). Income convergence prospects in Europe: Assessing the role of human capital dynamics. *Economic Systems* 37, 493–507.
- Dauderstädt, M. (2014). Convergence in Crisis European Integration in Jeopardy. *Friedrich Ebert Stiftung - international policy analysis, October 2014, 1 - 40*.
- De Long, J. (1988). Productivity Growth, Convergence, and Welfare: Comment. *The American Economic Review*, Vol. 78, No. 5, 1138-1154.
- Dickey, D., et Fuller, W. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427- 431.
- Dobrinsky, R. (2006). Catching-up inflation and nominal Convergence: The Balancing act for New EU Entrants. *Economic Systems* 30, 424-442.

- 
- Domard, E. (1946). Capital Expansion, Rate of Growth and Employment. *Econometrica*, Vol.14, No. 2, 137-147.
- Domard, E. (1947). Expansion and Employment. *American Economic Review*, 37, 34-45.
- Dougherty, C., et Jorgenson, . (1997). There is No Silver Bullet: Investment and Growth in the G7. *National Institute Economic Review*, No162, 57-74.
- Dowrick, S., et Nguyen, D. (1989). OECD Comparative Economic Growth 1950-85: Catch-Up and Convergence. *The American Economic Review*, Vol.54, No.3, 100-1030.
- Drastichová, M., et Vsb-Tu, O. (2012). The relations of real and nominal convergence in the EU with impacts on the euro area participation. *ER-CEREI, Volume 15*, 107-122.
- Dreger, C., Kholodilin, K., et Slacalek, J. (2007). Price Convergence in the Enlarged Internal Market. *European Economy Economic Papers, Number 292*.
- Durlauf, S., et Johnson, P. (1995). Multiple regimes and cross-country growth behaviour. *Journal of Applied Econometrics* 10, 365-84.
- Durlauf, S., et Quah, D. (1998). The New empirics of Economic Growth. *NBER Working Paper 6422*.
- Eberhardt, M., et Teal, F. (2013). Structural Change and Cross-Country Growth Empirics. *The World Bank Economic Review*, 27, 229-271.
- Estrada, A., Gali, J., et Lopez-Salido. (2013). Patterns of Convergence and Divergence in the Euro Area. *IMF Economic Review vol.61*, 602-630.
- Evans, P., et Karras, G. (1996). Convergence Revisited. *Journal of Monetary Economics*, 37, 249-66.
- Fagerberg, J. (1995). Convergence or Divergence? The Impact of Technology on "Why Growth rates differ? *J. Evol. Econ.* 5, 269-284.
- Felipe, J., et McCombie, J. (2005). Why are Some Countries Richer than Others? A Skeptical View of Mankiw-Romer-Weil's Test of The Neoclassical Growth Model. *Metroeconomica* 56:3, 360-392.
- Fleissig, A., et Strauss, J. (2001). Panel Unit-Root Tests of OECD Stochastic Convergence. *Review of International Economics*, Vol. 9, Issue1, 153-162.
- Friedman, M. (1994). Do Old Fallacies Ever Die? *Journal of Economic Literature*, Vol.30, No 4, 2129-2132.
- Fuss, C. (1999). Mesures et Tests de Convergence: Une revue de la littérature . *Revue de l'OFCE Vol.437*, 1056-69.
- Galor, D. (1996). Convergence? Inferences From Theoretical Models. *Economic Journal*, Vol.106, Issue 437, 1056-69.
- Gerschenkron, A. (1953). *Economic Backwardness in Historical Perspective: A book of Essays*. New York: Frederick A. Praeger.
- Grier, K., et Tullock, G. (1989). An Empirical Analysis of Cross-National Economic Growth. *Journal of Monetary Economics*, 24, 259-276.

- Gylfason, T., et Zoega, G. (2007). A Golden Rule of Depreciation. *Elsevier, Vol. Economics Letters*, 96 (3), 357-362.
- Halles, R., et Jones, C. (1996). The Productivity of Nations. *NBER-Working Paper 5812*.
- Hans, F., et Matthias, T. (2007). Convergence of EU-Regions. *A Literature Report Investigaciones Regionales, Num.10, Primavera*, 5-32.
- Harrod, R. (1939). An Essay in Dynamic Theory. *The Economic Journal, Vol.49, No193*, 14-33.
- Hasan, R., Mitra, D., et Sundaram, A. (2013). The Determinants of Capital Intensity in Manufacturing: The Role of Factor Market Imperfections. *World Development, Vol.51*, 91-103.
- Holtz-Eakin, D. (1993). Solow and the States:Capital accumulation, Productivity and Economic Growth. *National Tax journal, Vol.46, No. 4*, 425-39.
- Iancu, A. (2008). Nominal Convergence. *Review of Economic and Business Studies (REBS) issue: 2*, 53-76.
- Islam, N. (1995). Growth empirics: a panel data approach. *Quarterly Journal of Economics, 90*, 1127-70.
- Islam, N. (2003). What Have we Learnt From the Convergence Debate? *Journal o Economic Survey Vol.17, No.3*, 310- 362.
- Jacquelain, V. (2004). Convergence nominale et convergence réelle des nouveaux États membres. *DP Analyses Economiques, No 45*.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Economic Dynamic control, 12*, 231-254.
- Johansen, S. (1991). Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models. *Econometrica Vol. 59, No. 6*, 1551-1580.
- Jones, C. (2013). *Introduction to Economic Growth*. London: W.W. Norton.
- Juselius, M. (2008). Long-Run Relationships between Labor and Capital: Indirect Evidence on the Elasticity of Substitution. *Jouranal of Macroeconomics 30*, 739-414.
- Kelly, M. (2009). Tecnological Progress Under Learning by Imitation. *International Economic Review, Vol.50, No. 2*, 397- 414.
- Klenow, P., et Hsieh, C.-T. (2009). Misallocation and Manufacturing TFP in China and India. *Quaterly Journal of Economics Vol.CXXIV, issue 4*, 1403-1448.
- Klingler-Vidra, R., et Schleifer, P. (2014). Convergence More or Less: Why Do Practices Vary as They Diffuse? *International Studies Review Vol.12, Issue 2*, 264-274.
- Klump, R., et De la Grandville, O. (2000). Economic Growth and the Elasticity of Substitution: Two Theorems and Some Suggestions. *The American Economic Review, Vol. 90, No. 1*, 282-291.
- Knight, M., Loayza, M., et Villanueva, D. (1993). Testing the Neoclassical Theory of Economic Growth: A Panel Data Approach. *IMF Staff Papers, 1993, vol. 40, issue 3*, 512-541.
- Kormendi, R., et Meguire, P. (1985). "Macroeconomic Determinants of Growth: Cross-Country evidence. *Journal of Monetary Economics, vol 16, issue 2*, 141-163.

- Lafaye de Micheaux, P., et Liquet, B. (2009). Understanding Convergence Concepts: A Visual-Minded and Graphical Simulation-Based Approach. *The American Statistician Vol.63 No2*, 173-178.
- Lebergott, S. (1964). Factor Shares in the Long Term: Some Theoretical and Statistical Aspects. Dans C. o. Wealth, *The Behavior of Income Shares: Selected Theoretical an Emprical Issues* (pp. 5-100). Princeton: Princeton Univesity Press.
- Lee, K., Pesaran, H., et Smith, R. (1997). Growth and Convergence in a Multi-country empirical Stochastic Solow Model. *Journal of Applied Econometrics, Vol.12*, 357-392.
- Lein, S., Leon-Ledesma, M., et Nerlich, C. (2008). How is real convergence driving nominal convergence in the new EU Member States? *Journal of International Money and Finance* 27, 227-248.
- Li, Q., et Papell, D. (1999). Convergence of International Output: Times Series Evidence for 16 OECD Countries. *International Review of Economics and Finance*, 8, 267-280.
- Losos, J. (2011). Convergence, adaption and constraint. *Evolution, Vol.65 No7*, 1827-1840.
- Maddison, A. (1982). Phases of Capitalist Development. *Oxford University Press*.
- Makris, G. (2015). Optimum Currency Area Theory, Nominal and Real Convergence Controversies and the European Experience After the Recent Global Economic Crisis. Dans A. Karasavoglou, et al., *EU Crisis and the Role of the Periphery* (pp. 57-73). Contributions to Economics (on line).
- Mankiw, G., Romer, D., et Weil, D. N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107, 407-37.
- McAdam, P., Klumpt, R., et Willman, A. (2004). Factor Substitiion and Factor Augmenting Technical Progress in the US: A Normalized Supply-Side System Approach. *European Central Bank, Working Paper Series No367*.
- McQuinn, K., et Whelan, K. (2007). Conditional Convergence and the Dynamics of the Capital-output Ratio. *Journal of Economic Growth, Vol.12*, 159-184.
- Molina, G., et Purser, M. (2010). Human Development Trends Snce 1970: A Social Convergence Story. *UNDP-Human Development Research Paper 02*.
- Palana, N., et Schmiedeberg, C. (2010). Structural convergence of European countries. *Structural Change and Economic Dynamics* 21, 85-100.
- Pereira, C. (2002). Variable Elasticity of Substitution, Technical Change and Economic Growth. *North Carolina State University Working Paper*.
- Polasek, W., et Amplatz, C. (2003). The Maastricht Criteria and the Euro: Has the Convergence Continued? *Journal of Economic Integration* 18(4), 661-688.
- Quah, D. (1993). Galton's Fallacy and Tests of Convergence Hypothesis. *Scandinavian Journal of Economics*, 95, 427- 443.
- Quah, D. (1995). Empirics for Economic Growth and Convergence. *Centre for Ecnomic Performance-Discussion Paper No. 253*.
- Rassekh, F. (1998). The Convergence Hypothesis: History, Theory, and Evidence. *Open Economies Review Volume 9, Issue 1*, 85-105.

- 
- Rebelo, S. (1991). Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 99 No.3, 500-521.
- Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, Vol.98, No.5, S71-S98.
- Sala-i-Martin, X. (1996). The Classical Approach to Convergence analysis. *The Economic Journal*, Vol.106, No.437, 1019-1036.
- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, No. 3, 312-320.
- Solow, R. (2001). Applying Change and the Theory across Countries. *The World Bank Economic Review*, Vol.15 No.3, 283-288.
- Soukiazis, R., et Castro, V. (2005). How the Maastricht criteria and the Stability and Growth Pact affected real convergence in the European Union A panel data analysis. *Journal of Policy Modeling* 27, 385-399.
- Stojkov, A., et Zalduendo, J. (2011). Europe as a Convergence Engine Heterogeneity and Investment Opportunities in Emerging Europe. *The World Bank Policy Research Working Paper* 5837.
- Strugill, B. (2012). The Relationship Between Factors Shares and Economic Development. *Journal of Macroeconomics* 34, 1044-1062.
- Swan, T. (1956). Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record* 32, 334-61.
- Syverson, C. (2007). Prices, Spatial Competition and Heterogenous Producers: An Empirical Test. *Journal of Industrial Economics* 55(2), 197-222.
- Syverson, C. (2011). What Determine Productivity? *Journal of Economic Literature* 49(2), 326-65.
- Tavera, C. (1999). Convergence au sens de Maastricht, Convergence Economique et Convergence Structurelle. Concepts et tests Econométrique. Dans C. Tavera, *La convergence des Economies Européennes* (p. Paris). *Economica*: 19-52.
- Taylor, A. (1999). Sources of convergence in the late nineteenth century. *European Economic Review* 43, 1621-1645.
- Temple, J. (1999). The New Growth Evidence. *Journal of Economic Literature*, Vol. XXXVII, 112-156.
- Van Ark, B., O'Mahony, M., et Timmer, M. (2008). The Productivity Gap between Europe and the United States: Trends and Causes. *The journal of Economic Perspectives*, Vol.22 No1, 25-44.
- Verspagen, B. (1991). A New empirical approach to catching-up or falling behind. *Structural Change and Economic Dynamics*, vol 2 No,2.
- Wolff, E. N. (1991). Capital Formation and Productivity Convergence Over the Long Term. *The American Economic Review*, Vol.81, No.3, 565-579.



---

**CHAPITRE II**

**LA CONVERGENCE DE LA PRODUCTIVITE TOTALE DES FACTEURS :**

**CATCHING-UP TECHNOLOGIQUE ET CAPITAL DEEPENING**

## INTRODUCTION

L'approche néoclassique entrevoit la convergence des niveaux de vie principalement au travers du prisme de l'accumulation du capital. La différence des taux de croissance entre les pays bien dotés en capital et ceux peu dotés se résorberait à mesure que les seconds accumuleraient du capital et connaîtraient des taux de croissance plus élevés que les premiers. Mais les travaux empiriques ne se satisfont pas de cette prédiction puisqu'à l'évidence les évolutions de revenu par tête ne semblent pas explicables par les seules variations du capital physique et du travail. L'existence du progrès technique et ses caractéristiques deviennent un enjeu intellectuel dans l'analyse de la convergence des productivités. S'il était perçu comme une part non expliquée de la productivité, le progrès technique devient facteur englobant de productivité visant à traduire la productivité globale ou totale ou multifactorielle, plus généralement désignée Productivité Globale des Facteurs (PGF). Finalement, la différence de PGF tient une grande place dans l'analyse des écarts des niveaux de vie entre les économies de même que dans l'examen de leur convergence. Bien que les différences de PGF n'induisent pas *ipso facto* une différence de technologies il est certain que la différence de technologies conduit à la différence des PGF. La technologie se étant entendue telle que Dosi et Nelson (2009) la définissent: « *a technology can be sees as a human designed means for achieving a particular end. These means most often entail particular pieces of knowledge, procedures, and artifacts*<sup>15</sup> ». La différence de technologies, en plus d'expliquer celles de la productivité devient le facteur déterminant de la convergence des productivités.

Les différences de technologies offriraient aux pays à faible niveau technologique de croître plus vite que ceux qui connaissent déjà une technologie de nouvelle génération. La convergence des niveaux de productivité serait ainsi un phénomène de rattrapage

---

<sup>15</sup> Dosi et Nelson (2009), P.4

---

technologique, telle que l'exprime Verspagen (1991) : « *Catching up refers to the principle that countries with relatively low technological levels are able to exploit a backlog of existing knowledge and therefore attain high productivity growth rates. While countries that operate at (or near to) the technological frontier have less opportunities for high productivity growth<sup>16</sup>* ». Cette approche partagée par de nombreux auteurs valorise les écarts de technologie comme des opportunités pour les pays *followers* de rattraper les niveaux de productivité des pays *leaders* (Abramovitz, 1979, 1986 ; Baumol, 1986 ; Wolff, 2014 ; Dowrick et Nguyen, 1989).

Cependant, l'approche de la différence des niveaux de vie par la différence des technologies est aussi un sujet de controverse entre les économistes. Pour les uns (Klenow et Rodriguez-Clare, 1997 ; Hall et Jones, 1999) elle peut se résorber par la simple diffusion/transfert des innovations ; pour les autres, le rattrapage technologique tient non seulement à la diffusion mais s'accompagne de l'accumulation du capital (Caselli et al., 1996 ; Howett, 2000 ; Di Liberto et al. 2008). La plupart de ces études s'inscrivent dans le cadre de la comptabilité de croissance et reposent sur des fonctions de production paramétriques, le plus souvent de type Cobb-Douglas.

Certains économistes reprocheront à l'approche paramétrique de contraindre le processus de production dans un cadre prédéfini et lui préféreront une approche non paramétrique qui ne nécessite pas d'hypothèses particulières sur la forme de la fonction de production (Kumar et Russell 2002 ; Färe et al., 1994 ; 2007). L'intuition qui sous-tend cette approche est qu'il est possible d'envelopper les données de la production et d'en déduire les meilleures pratiques qui constituent la frontière de l'ensemble de ; d'où sa dénomination d'approche DEA (*Data Envelopment Analysis*) ; en outre, elle permet de décomposer la productivité en plusieurs composantes : technique, allocative, d'échelle etc.

Tant par l'approche paramétrique que non-paramétrique, le lien entre convergence économique et convergence des productivités apparaît mieux clairement. De nombreux économistes comme Islam (2001, 2005), Wolff (1991), Klenow et Rodriguez-Clare (1997)

---

<sup>16</sup> Verspagen (1991), P. 359-360

estiment que la convergence économique serait mieux expliquée dans une approche par la productivité. Puisque que les différences de productivité entre les pays sont plus marquées que celles des niveaux de vie, les mécanismes de la productivité apporteraient un meilleur éclairage sur la convergence économique. Parce que la compréhension du rôle de la productivité s'est précisée au cours de temps (d'abord vue comme un résidu, puis comme une technologie commune et enfin comme des différences entre les technologies nationales), la PGF va marquer les analyses successives et complémentaires de la convergence économique par le biais des rattrapages des niveaux et des taux de productivité.

L'objectif de ce chapitre est de décrire comment la convergence de la PGF s'est progressivement révélée déterminante dans l'analyse de la convergence entre les économies. Les différences entre les pays ne seraient plus comblées grâce à la seule accumulation de capital mais également par rattrapage technologique. Ce chapitre commence par une présentation du concept de PGF et sa prédominance sur l'accumulation du capital dans l'analyse de la productivité ; se poursuit dans la section 2 par la présentation du cadre conceptuel de l'efficacité productive et de la problématique du gap technologique. La section 3 présente la convergence des PGF d'abord comme un catching-up sous l'hypothèse de technologie commune, puis sous l'hypothèse de technologies différentes un processus cumulé de catch-up et du capital-deepening.

## **Section 1 - Le déterminant des écarts de productivité : la PGF**

Dans la théorie néoclassique, l'affirmation que les différences de niveau de vie entre les pays tiennent aux différences de productivité, repose sur le rôle principal de l'accumulation du capital dans l'explication de la productivité. Cependant, la comptabilité de la croissance démontre l'insuffisance de la seule variation du capital à rendre compte de l'accroissement du PIB per capita. Si les différences des niveaux du ratio  $K/L$  entre les pays importent dans l'explication de la convergence des pays pauvres vers les pays riches, le taux de croissance de ce ratio tient une faible place dans l'explication des différences de productivités du travail. La part non expliquée, dite résiduelle est si importante qu'elle constitue le défi majeur de l'explication de la différence des niveaux et des taux de croissance des productivités entre pays. Cette part prend le nom de productivité globale des facteurs et devient un réel enjeu.

La problématique de l'explication de la productivité devient celle de l'arbitrage entre l'accumulation du capital et la PGF.

La présente section nous conduit au cœur de la PGF comme facteur explicatif de la différence des productivités et donc de celle de niveau de vie. Après avoir fait le point sur le débat de la primauté de la PGF sur le *capital deepening* dans l'explication de la productivité, nous évoquerons les approches avec ou sans référence à une frontière de production dans l'étude de PGF et terminerons par la place de la technologie dans l'analyse de la productivité.

### 1.1 - Plutôt la PGF que l'accumulation du capital

La question des déterminants des gains de productivité est au cœur de l'analyse de la croissance et de la convergence : dépendent-ils surtout de l'accumulation du capital ou proviennent-ils de quelque chose d'autre ? (Solow, 1957 ; Easterly et Levine, 2001 ; Aghion et Howitt, 2007). La décomposition de la dynamique de la production en ses composantes, connue sous le nom de comptabilité de la croissance, apporte des éléments de réponse à cette question.

La théorie néoclassique a surtout mis l'accent sur la différence de l'accumulation du capital pour prédire et justifier la convergence des niveaux de vie entre les pays. Pourtant, en étudiant l'économie des USA, Solow (1957) trouve que seulement 12,5% des gains de productivité réalisés entre 1909-1949 étaient expliqués par l'accumulation du capital et 82,7% constituaient un résidu non expliqué, qu'il assimile au progrès technique au sens large à partir de l'équation déduite de la fonction de production agrégée :

$$\ln Y_t = \alpha \ln K_t + (1 - \alpha) \ln L_t + \ln A_t \quad (1)$$

Avec  $Y_t$  le revenu,  $K_t$  et  $L_t$  le capital et le travail,  $\alpha$  et  $(1 - \alpha)$  les parts respectives du capital et du travail dans la fonction de production et  $A_t$  le terme résiduel, généralement assimilé à la PGF - appellation due à Tinbergen (1959) - et que certains auteurs préfèrent nommer productivité multifactorielle. On en déduit la productivité du travail comme étant l'output par unité de travail sous la forme :

$$\ln\left(\frac{Y}{L}\right)_t = \alpha \ln\left(\frac{K}{L}\right)_t + \ln(A)_t \quad (2)$$

La dynamique de la productivité du travail reposerait donc sur des facteurs autres que l'accumulation du capital par unité de travail et poserait par le fait-même le problème de l'explication de la convergence par la seule dotation en capital.

$$\frac{dy}{y_t} = \alpha \frac{dk}{k_t} + \frac{dA}{A_t}$$

Avec  $y_t = Y_t / L_t$  ;  $k_t = K_t / L_t$ .

La variation du résidu de Solow  $\frac{dA}{A_t}$  recouvre les effets de facteurs autres que le stock de capital par tête comme par exemple le niveau de qualification du travail, l'innovation technologique, le changement institutionnel, le mode d'organisation, les attitudes sociales. Malheureusement, cette prise en compte dans l'analyse n'épuise pas la totalité de la part de ce résidu de Solow dans la dynamique de la productivité du travail. Ce reste non expliqué hante les économistes, comme une « *mesure de notre ignorance* » dit Abramovitz (1956), ou une « *boite noire* » selon Acemoglu (2009).

Pour Hulten (2001), l'impression de fourre-tout que donne ce résidu divise les économistes en deux groupes : les uns qui voudraient qu'il contienne les effets des innovations techniques et organisationnelles, et les autres qui y verraient plutôt la mesure d'erreurs diverses sur les variables et/ou sur la spécification des modèles économétriques ou même des biais d'agrégation.

Une controverse s'installe entre les économistes au sujet du déterminant du revenu par tête : entre l'accumulation du capital et la PGF, laquelle serait plus déterminante dans la croissance du niveau de vie et donc expliquerait mieux la différence de richesse entre les pays ? Le passage de l'équation (1) à l'équation (2) révèle qu'en ajoutant le niveau de l'éducation au facteur travail, la part expliquée par la seule accumulation du capital baisse sensiblement et celle de l'éducation et de la PGF augmente (Denison 1962 ; Mankiw et al., 1992). De plus, Denison (1967) éveille l'attention sur le fait que la prise en compte des économies d'échelle

aurait une incidence réelle dans l'explication de PGF, et suggère que celle-ci reposerait également sur l'amélioration de l'allocation des ressources.

Le regain d'intérêt pour la PGF s'est manifesté dans la comparaison internationale : des pays du G-7 (Dougherty et Jorgenson, 1996 ; Wolff, 1991), des pays de l'OCDE (Arcelus et Arocena, 2000 ; Madsen, 2010), de l'Union Européenne (Grosskopf et Self, 2006 ; Van Ark et al., 2003) de la zone euro (Dobrinsky, 2006 ; Borsi et Metiu, 2013) etc. Cependant, les études sur les économies de l'Asie du Sud-Est nourriront un réel débat entre les tenants au *prima* de l'accumulation du capital et ceux de la PGF au sujet de leur prépondérance dans la détermination de la croissance du revenu par tête (voire Islam 2001). Les premiers travaux (Lee, 1990 ; Young, 1995 ; Kim et Lau, 1994) qui suggèrent que l'explication de la croissance du niveau de vie de *Singapore*, de la Corée du Sud et de Taiwan tient plus à l'accumulation du capital qu'à celle de la PGF ne font pas l'unanimité des économistes. Comme Krugman (1994) le point de vue des « *accumulationnistes* » (Nelson et Pack, 1999 ; Page 1994 ; Dahlman et Westphal, 1988) fait de l'accumulation des facteurs de production la source de la croissance de cette région. Par contre, les « *révisionnistes* » pensent que l'accumulation des facteurs n'y occuperait qu'une faible part (Collins et Bosworth, 1997 ; Marti, 1996). Pour ceux-ci, l'accès à des technologies nouvelles serait plus significatif dans l'explication de la croissance des pays de l'Asie de l'Est que la seule accumulation de facteurs. Selon Grosskopf et Self (2006) la divergence de vue entre les auteurs tiendrait à trois raisons. D'abord certaines sources de la croissance, telles que les institutions, sont ignorées dans la littérature. Ensuite, les chercheurs ont considéré les pays en fonction de leur proximité géographique et leurs ont donc appliqué une formule « *prêt-à-porter* », ce qui n'est peut-être pas approprié. Enfin, bien que l'accumulation des facteurs soit importante, ceux-ci contribuent à la croissance via les améliorations de la technologie dont le rôle se révélera tout aussi, sinon plus important dans l'explication de la productivité.

## 1.2 - La PGF : Un simple résidu, une « *boite noire* »

Reconnaître la primauté de la PGF sur l'accumulation du capital dans l'explication de la productivité devait conduire à s'interroger sur ses déterminants. Son enjeu devient tel, qu'elle passe d'un état d'un simple résidu à celui d'une « *boite noire* » Moutinho et al., 2015 ; Mata

et Louçã, 2009), enregistrant et pouvant livrer de précieuses informations sur les niveaux, trajectoires et les taux de croissance des économies et des firmes.

Les économistes recourent à diverses méthodes de calcul, plus ou moins sophistiquées les unes que les autres pour calculer la PGF. Les plus courantes sont la forme absolue et la forme relative. Dans la forme absolue, son taux de croissance découle de la comptabilité de la croissance comme un écart (Solow, 1957 ; Tinbergen, 1959 ; Denison, 1962) sous la forme courante :

$$\Delta \ln PGF_t = \Delta \ln y_t - v_{K,t} \Delta \ln K_t - v_{L,t} \Delta \ln L_t \quad (3)$$

Où  $v_{K,t}$  et  $v_{L,t}$  représentent respectivement la part du capital et celle du travail dans la production. Ces parts étant leur rémunération respective dans le processus de production. Cette équation peut prendre des formes encore plus sophistiquées (Islam, 2003) mais le souci reste bien de dissocier les parts expliquées de celles non-expliquées.

Cette forme absolue se distingue de la forme de détermination relative (Christensen et al., 1980 ; Dollar et Wolff, 1994). Wolff (1991) préconise la formule de détermination du niveau de la PGF tel :

$$PGF_t = \frac{Y_t}{[\alpha_t K_t + (1 - \alpha_t) L_t]} \quad (4)$$

$\alpha_t$  et  $(1 - \alpha_t)$  sont les parts respectives du capital et du travail dans le processus de production. Cette forme retenue par le manuel de l'OCDE (2004) peut connaître des variantes plus ou moins complexes (Coelli et al., 1998 ; Hulten, 2001). Ces modes de calcul ne permettent pas une définition aisée de la PGF. Puisque son taux de croissance ou son niveau dépend de l'output et des inputs pondérés par leur part. D'une part ces données ne sont ni toujours disponibles ni faciles à calculer et d'autre part les hypothèses de la fonction Cobb-Douglas sont sujet à caution, certains auteurs y ont trouvé l'occasion d'en contester la signification et la pertinence économique (Reati, 2001 ; Hartley, 2000). Et malgré le débat sur son rôle dans l'émergence de l'économie Asiatique, la PGF s'impose comme l'indicateur le

mieux approprié (Hulten, 2001 ; Isaksson, 2007) dans l'analyse des écarts de productivité et des convergences des niveaux, tant son contenu couvre un large spectre de déterminants.

L'enjeu des déterminants de la PGF est celui de la réponse à la question de savoir pourquoi les pays et les entreprises diffèrent-ils tant dans la transformation des inputs en output ? Et comme s'interroge Syverson (2011) « *Is it dumb luck or instead something—or many things—more systematic?* »<sup>17</sup>. L'attention de nombreux économistes s'est focalisée sur l'analyse de la « boîte noire » de la croissance pour en disséquer le contenu. La littérature est riche d'une grande diversité de composantes de la PGF : (entre autres, Isaksson, 2007 ; Syverson, 2011 ; Wolff, 2014 ; Islam ; 2005). Dans son essai de synthèse Isaksson (2007), énumère les points communs: « *Of these, education, health, infrastructure, imports, institutions, openness, competition, financial development, geographical predicaments and absorptive capacity (including capital intensity) appear to be the most important* »<sup>18</sup>. L'auteur les regroupe en quatre catégories : *i*) La création, la transmission et l'assimilation de la connaissance ; *ii*) les facteurs d'offre et d'allocation efficace ; *iii*) les institutions, l'intégration et ses variantes ; *iv*) la concurrence la dimension sociale et l'environnement<sup>19</sup>. Les composantes peuvent constituer autant d'explication de la différence des productivités entre les pays.

Toutefois une liste aussi exhaustive soit-elle d'énumération des composantes de la PGF est insatisfaisante à exprimer sa dynamique interne. Les éléments, pris individuellement ou groupés ont en effet besoin d'être organisés en synergie afin d'être plus efficaces (Acemoglu et Dell, 2009 ; Acemoglu et Zilibotti, 2001). A cet égard, l'allusion à la chance reste marginale (Poter, 1998 ; Grossman et Helpman, 1994). Le processus de production montre la mesure de sa performance dans la technologie (entre autres Wolff, 1996, 2014 ; Comin et Mestieri, 2013 ; Klenow et Hisieh, 2009) en tant que meilleure allocation des meilleures ressources. La PGF peut donc s'analyser dans un cadre technologique d'efficacité et d'inefficacité (Caselli et Coleman, 2006 ; Filippetti et Peyrache, 2013). Les écarts qu'elle induit entre les pays, peuvent

---

<sup>17</sup> Syverson (2011) ; P. 328

<sup>18</sup> Isaksson (2011), abstract

<sup>19</sup> En plus de cette approche du point de vue de l'offre, Isaksson fait remarquer qu'une approche du point de vue de la demande a été faite par Cornwall, J. et W. Cornwall (2002), "A Demand and Supply Analysis of Productivity Growth", *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 13, pp. 203-29.

être interprétés en classement : les uns devançant, les autres suivant (Benhabib et al., 2014 ; Stiglitz, 2015) ; et les trajectoires caractérisées comme rattrapage « *catching-up* » ou d'affaiblissement « *falling behind* » (Abramovitz, 1986 ; Stokey, 2012).

### **1.3 - L'approche descriptive de la comparaison internationale et les tests de convergences des PGF**

Les travaux de comparaisons internationales visent généralement à savoir quelle part de la dynamique de la productivité du travail est imputable à celle de la PGF dans chaque pays. La comparaison se fait soit en times-séries, en cross-section ou en panel de données.

Par la méthode des séries chronologiques, la comparaison se fait à partir d'une PGF calculée sous forme absolue ou relative. Quelle que soit la forme, les premiers travaux de *times series* sur la PGF se sont surtout préoccupés de comparer la part de la PGF à celle de l'accumulation du capital dans la croissance économique.

La question de la convergence des PGF n'émerge qu'avec le traitement de l'effet catch-up par Maddison (1987) et des PGF obtenues calculées selon la forme absolue. La première utilisation de la forme relative est l'œuvre de Christensen et al. (1980) et Wolff (1991). La plupart de ces études comparent surtout l'évolution de la part de la PGF dans la croissance niveaux de vie entre les pays. L'idée est bien celle du rapprochement des parts de PGF entre différents pays et les USA ; mais il ne s'agit pas de convergence au sens de la corrélation négative entre le taux de croissance de la PGF et son niveau initial.

Dans la forme absolue, la première étude fut celle de Tinbergen (1959). Il utilise le trend des PGF comme représentant l'efficacité. Les travaux qui suivirent recourent au cadre de la comptabilité de croissance (Solow, 1957) pour déterminer le taux de croissance de la PGF, supposé varier d'une année sur l'autre, mais ils ne s'intéressent qu'aux USA. La comparaison internationale commence avec un nombre limité de pays, tous de l'OCDE (Denison, 1967 ; Kuznet, 1971). Maddison (1987), s'intéresse à la dynamique d'une seule économie comparée à celle des USA au cours du temps au moyen de PGF calculées selon la forme absolue (équation 3).

Maddison utilise un bonus de rattrapage, obtenu en pondérant la vitesse de convergence de la productivité du pays par le coefficient de 2%<sup>20</sup>. Ce « catch-up bonus » représente l'avantage de ce pays par rapport aux USA. Cependant, les valeurs obtenues n'ont pas la même dynamique et leur comparaison est difficile.

En exprimant les données nominales des différents pays en dollar, la forme relative de l'approche des séries chronologiques va permettre non seulement de comparer des niveaux mais aussi des taux de croissance de PGF (équation 4).

Les USA sont ainsi choisis comme pays de référence par rapport auquel les autres seront comparés (Jorgenson et Nishimizu, 1978 ; Christensen et al., 1980 ; Dollar et Wolff, 1994).

L'approche en cross-section voit le jour dans littérature de la PGF dans les années 80, avec les travaux de Chenery et al. (1986). Le souci demeure celui de connaître la part de la PGF dans l'explication de la croissance économique avec un intérêt particulier pour les sources structurelles de la croissance<sup>21</sup>.

L'approche utilise un modèle de comptabilité de la croissance mise en œuvre par Hall et Jones (1996) sous la forme<sup>22</sup> :

$$\Delta \log y_i = \bar{\alpha}_i \Delta \log k_i + (1 - \bar{\alpha}_i) \Delta \log h_i + \Delta \log A_i \quad (8)$$

---

<sup>20</sup> La vitesse de convergence conventionnelle depuis les travaux de convergence néoclassique.

<sup>21</sup> Islam (2001), le concept de sources structurelles de la croissance nait du constat que de nombreuses hypothèses du modèle néoclassique ne conviennent pas au pays en voie de développement. Le concept s'épanouira dans certains modèles de développement où les régressions économétriques d'explication de la croissance économique ajoutent aux variables ordinaires néoclassiques d'autres variables explicatives relatives au contexte spécifique des pays en voie de développement. Ces modèles sont les précurseurs des modèles de régression habituellement utilisés dans l'étude de la convergence.

<sup>22</sup> Cette équation découle d'une fonction de production Cobb-Douglas augmentée  $Y_i = A_i F(K_i, H_i)$  :  $Y$ , output ;  $K$  le capital ;  $H$ , le capital humain, est égal à  $e^{bL}$  ( $b$  représentant le coefficient du niveau d'éducation du facteur  $L$ ) ;  $A$  le progrès technique, ;  $i$ , l'indice du pays .

Avec  $\bar{\alpha}_i$ , la part moyenne du capital physique dans le produit de deux économies, tel que  $\bar{\alpha}_i = 1/2(\alpha_i + \alpha_{i-1})$ ;  $y_i$ ,  $k_i$ ,  $h_i$ , les taux de croissance respectivement de l'output, du capital physique et humain ;  $A_i$  le taux de croissance du progrès technique.

Puisque le souci est de mesurer la part de variation expliquée par celle des facteurs et celle de la PGF, l'équation (8) peut être approximée par l'expression :  $\Delta \ln y_i \equiv \Delta(\tilde{A}_i + inputs)$ . Soit  $Var(\ln y) = var(\tilde{A}) + var(inputs) + 2cov(\tilde{A}, inputs)$ . D'où il devient possible de savoir de combien varie l'output quand varient les inputs ( $V_{inputs}^1$ ) et la PGF ( $V_{\tilde{A}}$ ), tel que l'effet de la variation des inputs :

$$V_{inputs}^1 = \frac{Var(inputs)}{Var(\log y)} \quad \text{et} \quad V_{\tilde{A}} = 1 - V_{inputs}^1$$

Par ailleurs, pour comparer deux économies en fonction de leur PGF, Hall et Jones (1996) prennent les USA comme pays de référence, font des hypothèses sur les facteurs et leur part dans le processus de production, et déduisent une formule de comparaison des PGF de deux pays par rapport à celui du pays leader en fonction de leurs écarts de productivités par rapport avec celui des USA :

$$\log A_i = \sum_{j=2}^i \Delta \log A_j + \log A_1 \quad (9)$$

Où A est la PGF,  $i$  le pays étudié,  $j$  un autre pays à comparer au pays  $i$ ,  $A_1$ , un niveau de PGF du pays choisi comme leader. De sorte que le niveau de la productivité du pays  $i$  est la somme des différences de productivité pertinentes. Le niveau du pays leader est normalisé à  $A_1$ . Cette formule a l'avantage de s'affranchir d'une forme particulière de fonction de production ni même l'utilisation d'une équation de régression (Islam, 2001). Cependant elle requiert de pouvoir ranger les pays en fonction de leur écart d'avec le pays leader. De plus la méthode de calcul est sensible à l'inclusion ou l'exclusion d'un pays dans l'échantillon, tout comme elle repose sur l'hypothèse d'un taux de rendement uniforme entre les pays.

Les comparaisons en données de panel s'inspirent de la fonction de production linéarisée du modèle d'Islam (1995) telle que nous l'avons présentée dans le chapitre précédent :

$$\begin{aligned} \ln y_t = & (1 - e^{-\lambda T}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(s_{t_1}) - (1 - e^{-\lambda T}) \frac{\alpha}{1 - \alpha} \ln(n_{t_1} + g + \delta) \\ & + e^{-\lambda T} \ln y_{t-1} + (1 - e^{-\lambda T}) \ln A_0 + g(t - e^{-\lambda T} t_{t-1}) \end{aligned} \quad (10)$$

Parmi les variables précédemment définies (p.34- 36), rappelons que la vitesse de convergence  $\lambda = (n + g + \delta)(1 - \alpha)$ , représente le rythme auquel chaque économie comble sa distance à son état stationnaire. Les économies partagent une part commune de PGF tout en se différenciant par des effets spécifiques et des composantes structurelles propres ( $s$ ,  $n$ ,  $g$ ,  $\delta$ ). L'approche en données de panel contourne les limites des deux précédentes : d'abord, elle ne requière pas un ordonnancement des pays ; ensuite, elle est assez flexible pour permettre l'utilisation du taux d'investissement ou des données relatives au capital physique ou au capital humain, tout en permettant au terme d'erreur de ne pas être exagérément grossi du fait du détail des variables explicatives. Cependant les données relatives aux différentes variables ne sont pas toujours disponibles et nécessitent de recourir à des hypothèses pour les calibrer (Islam, 1995, 2003).

Bien que les tentatives de comparaisons précédentes soient surtout descriptives et ne se réfèrent que peu à l'hypothèse de la PGF-Convergence, elles tentent d'expliquer l'origine de la différence de productivité entre les pays. Celles-ci seraient à l'origine des écarts de niveau de vie entre les pays (Christensen et al., 1980 ; Wolff, 1991). Par exemple, Christensen et al. (1980) pensent que la croissance de la PGF dépend surtout de la variation de la quantité et de la qualité des inputs. Le facteur capital pouvant être substitué au facteur humain à mesure que celui-ci devient plus productif afin d'accroître ainsi l'efficacité du processus de production. L'étude de la convergence des PGF telle que la théorie s'en servira sous forme de régression commence avec Wolff (1991). Partant d'une fonction translog, il déduit les PGF des pays selon la forme relative pour en comparer l'évolution à celle des USA.

La problématique de la convergence des niveaux de vie se déplace sur celle des productivités. La réduction des écarts entre les uns conduirait *ipso facto* au rapprochement des niveaux des autres. Parce que la PGF est le principal déterminant de la productivité, l'analyse de la

convergence des PIB/hbt entre les pays serait mieux appréhendée par celle de leurs PGFs. A partir de l'approche absolue ou relative, de nombreux travaux testent la  $\beta$ -convergence et la  $\sigma$ -convergence des PGF. Ainsi des tests de  $\beta$ -convergence sont conduits sous la forme générale :

$$\Delta \ln(PGF)_i = \alpha + \beta \ln(PGF)_{i,t-1} + \varepsilon_i$$

Les études portant sur la  $\beta$ -convergence absolue (Bernard et Jones, 1996 ; Miller et Upadhyay, 2002) permettent d'examiner la vitesse de réduction des écarts de productivité tandis que les tests de  $\sigma$ -convergence analysent le comportement des dispersions de PGF (Castellacci, 2001). Avec les tests de  $\beta$ -convergence conditionnelle (Fung et Cheng, 2010 ; Morrow et al. (2010), les auteurs tentent d'identifier les autres variables de la matrice Z susceptibles d'expliquer la convergence des PGFs :

$$\Delta \ln(PGF)_{it} = \alpha_{it} + \beta \ln(PGF)_{i,t-1} + \delta Z_{it} + \varepsilon_{it}$$

Soulignons aussi que par rapport à ces tests s'ajoutent les tests de Cointégration (Madsen, 2007).

## Section 2 - L'Efficacité productive et la problématique de Gap-Technologique

La productivité renvoie au rapport de la production aux facteurs qui l'ont rendu possible (Nadiri, 1970 ; Schreyer, 2001<sup>23</sup>). Output et inputs peuvent donc être considérés comme liés par une relation – implicite ou explicite – qui détermine l'espace des possibles de leur lien. L'approche de la PGF avec ou sans référence à la fonction de production permet de mieux caractériser l'évolution de la productivité et la scinder en des composantes susceptibles de mieux expliquer la performance des pays les uns par rapport aux autres.

---

<sup>23</sup> Schreyer, P. (2001) Dans ce manuel de l'OCDE sur la productivité sont exposées diverses mesures de la productivité (p.11).

Bien que l'assimilation des écarts de PGFs aux différences de technologies ne fasse pas l'unanimité (Isaksson, 2007 ; Havick et al., 2008), certains estiment la proximité telle que l'une soit réductible à l'autre ; tel que le dit Islam (2001) :

*« TFP-differences are not identical to technology-differences. There are many other factors, besides differences in technology, which contribute to compute TFP-differences. However, it is certain that technology difference leads to TFP-difference, and in order to study the former, one has to start from the latter<sup>24</sup> »*

La technologie est le reflet de l'effort d'appropriation de l'environnement en vue de l'amélioration des conditions de production (Keller, 2004 ; Islam, 2005). Les différences de technologies se traduisent en différences de PGF et leur évolution au cours du temps retrace leur situation relative par convergence/divergence. Trouver un indice-PGF revêt alors un réel intérêt dans la comparaison internationale des productivités et l'analyse de leur convergence. En économie, les mesures et les variations de PGF, tout comme leurs comparaisons au cours du temps et dans l'espace sont bien plus qu'une simple question mathématique. Elles sont la transcription chiffrée d'une hypothèse d'optimalité ou de rationalité de comportement a priori des agents. Les premiers travaux de l'utilisation des indices-PGF reposent sur l'hypothèse d'une utilisation efficace des inputs pour obtenir les meilleurs outputs. A tout niveau d'inputs donnés correspond un niveau maximum d'output ; tout comme à chaque niveau d'output correspond un niveau minimum d'input.

## **2.1 - Le concept de frontière de production et de mesure d'efficacité**

Le concept de technologie semble difficile à cerner, il paraît se référer d'abord au mot technique, à l'habileté, la compétence, l'art etc. (Mokyr, 2003). Il s'agit d'un ensemble de savoir-faire ou d'instructions sur comment produire les biens et les services (*technology input*) ou sur les biens et services produits -*technology output*- (Dosi, 1982 ; Dosi et Nelson, 2010). Comin et Mestieri (2013), disent de manière plus formelle: « *a manner of accomplishing a task especially using technical processes, methods, or knowledge* »<sup>25</sup>. Si les techniques

---

<sup>24</sup> Islam, N. (2001), P. 496

<sup>25</sup> Comin et Mestieri (2013), P. 3

traditionnelles permettaient d'accroître la productivité, la révolution industrielle donne un intérêt particulier au progrès technique comme facteur de convergence ou de divergence (Verspagen, 1991 ; Bernard et Jones, 1996). Parce qu'il peut affecter divers déterminants de la croissance : le capital physique, le capital humain, la géographie, la culture, le climat, les institutions (Stiglitz 1987 ; Barro, 2003 ; Islam, 2005). Dans le processus de catch-up, la littérature porte sur les dynamiques de transitions de situations moins efficaces vers des états plus efficaces. Le rattrapage technologique décrit cette trajectoire des transitions structurelles les moins vers les plus productives au moyen de l'innovation, la diffusion, l'adoption et/ou l'imitation.

### 2.1.1 Le cadre conceptuel de la frontière de production

Les technologies établissent les liens entre les outputs potentiels et certaines dotations de facteurs. Ainsi, en supposant que des DMU (firmes, secteurs, pays) utilisent  $N$  ressources ( $x$ ) pour produire  $M$  outputs ( $y$ ), la technologie peut s'exprimer sous forme d'équation et s'illustrer graphiquement de diverses façons en fonction des espaces considérés.

Une technologie est décrite par un ensemble  $T$

$$T = \{(x, y) \in R_+^{(N+M)} : x \text{ peut produire } y\} \quad (30)$$

$T$  est structuré par deux principales hypothèses qui sont la libre disponibilité des inputs et des outputs et la convexité.

La libre disposition des inputs et des outputs stipule que l'on peut toujours produire la même production avec plus de facteurs ou que l'on peut toujours produire moins avec la même quantité de facteurs. La convexité suppose que toute combinaison linéaire d'éléments appartenant à  $T$  appartiendra à  $T$ .

Dès lors, on définit  $T$  tel que :

$$T = \left\{ (x, y) : x \in R_+^I, y \in R_+^O, \sum_{n=1}^N z_n y_n^o \geq y^o, o = 1, \dots, O, \right. \\ \left. \sum_{n=1}^N z_n x_n^i \leq x^i, i = 1, \dots, I, \sum_{n=1}^N z_n = 1, z_n \geq 0, n = 1, \dots, N \right\}$$

Les plans de production dits efficaces appartiennent à la technologie et délimitent la frontière de production dont la représentation graphique diffère selon les espaces considérés :

- Dans l'espace des outputs-inputs (figure 1) :

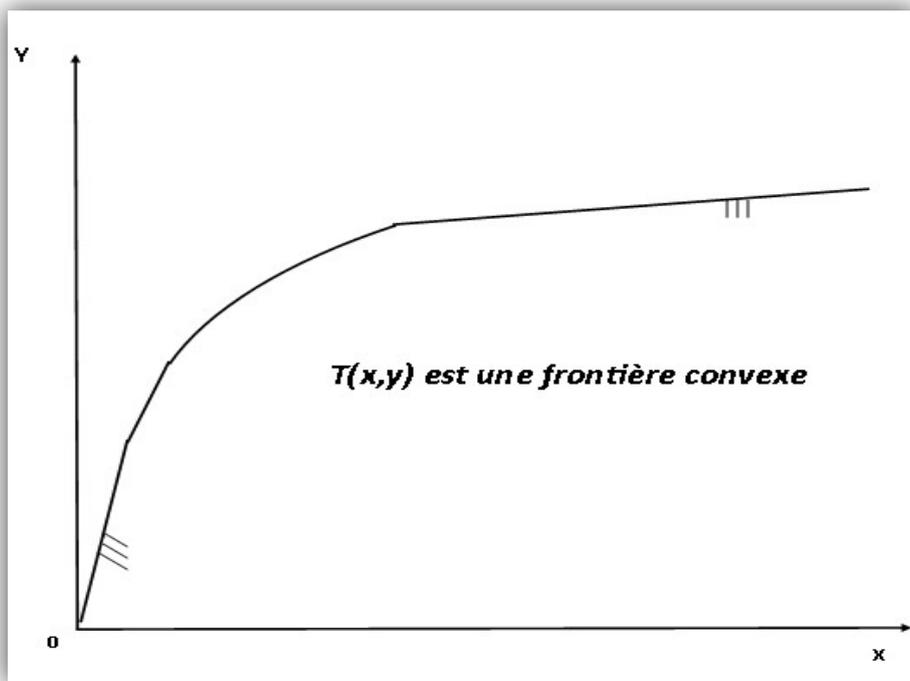
Dans les espaces outputs-outputs (figure 2B), les frontières correspondantes traduisent respectivement toutes les combinaisons d'outputs réalisables par un niveau d'input donné :

$$P(x) = \{y \in R_+^M : (x, y) \in T\}$$

- Dans l'espace des input-inputs (figure 2A): la technologie exprime toutes les combinaisons d'inputs susceptibles de réaliser un niveau donné d'output :

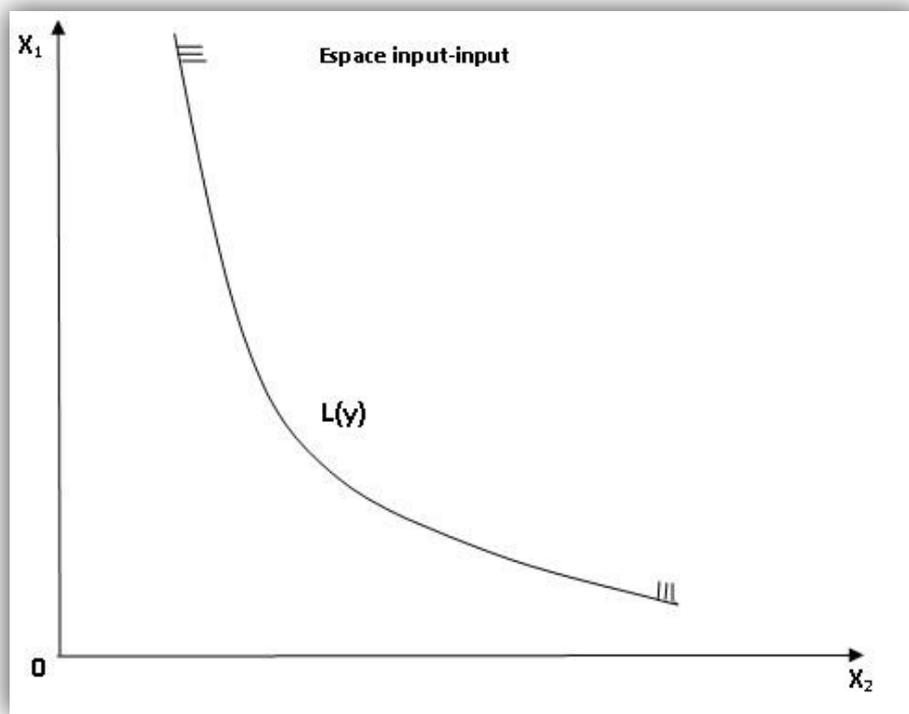
$$L(y) = \{x \in R_+^N : (x, y) \in T\}$$

**Figure 1 : Frontière de production dans l'espace ouput-input**

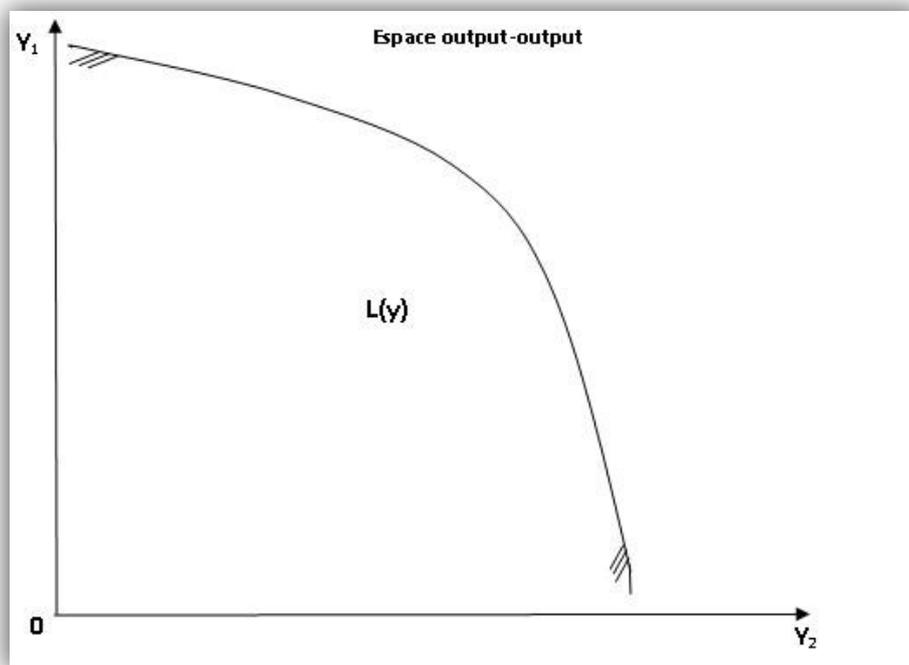


Ces frontières prennent les formes respectives :

*Figure 2a : Frontière de production*



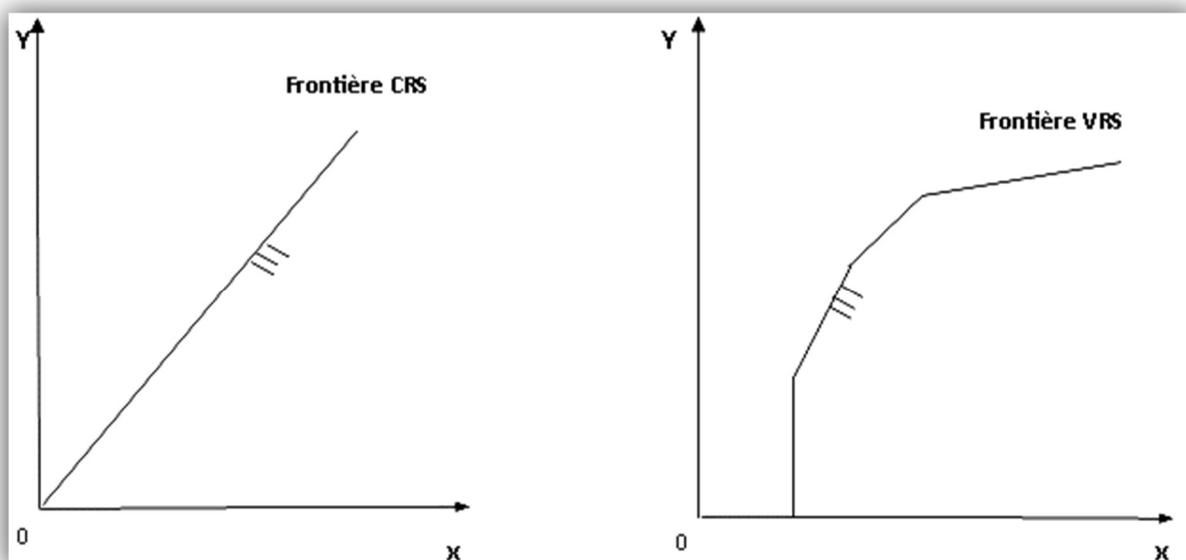
*Figure 2b : Frontière de production*



A la suite des deux premières hypothèses de base, une autre est couramment évoquée dans la littérature :

- L'hypothèse des rendements à l'échelle traduit la répercussion des variations des inputs sur les variations d'output. Les rendements à l'échelle sont dits constants (*Constant returns to scale-CRS*), quand tous les outputs augmentent ou diminuent proportionnellement à l'augmentation ou la diminution des inputs. Ils seront non-croissants à l'échelle (*non-increasing returns to scale - NIRS*) quand la croissance de la production est tout au plus identique à celle des facteurs, au contraire les rendements seront non décroissants à l'échelle (*non-décreasing returns to scale - NDRS*) lorsque les outputs croissent au moins comme proportionnellement aux inputs. Enfin, les rendements sont dits variables à l'échelle (*variable returns to scale – VRS*) lorsqu'ils varient de toute autre manière que les cas précités. Cependant, les types de rendements les plus évoqués dans la littérature sont les CRS et les VRS, qui se présentent graphiquement ainsi (figure 3) :

**Figure 3 : frontière de production des rendements à l'échelle**



### 2.1.2 Les fonctions distance : mesure de l'efficacité technique par rapport à la frontière de production

L'hypothèse de l'existence d'une frontière de délimitation de l'ensemble des productions possibles s'accompagne de celle de la distance de chaque couple d'input-output d'avec les meilleurs pratiques. Celles-ci se référant aux meilleures utilisations possibles des ressources de production selon les technologies les plus efficaces possibles. C'est dans les années 1950 qu'émerge l'idée de mesurer cette efficacité technique. Koopmans (1951)

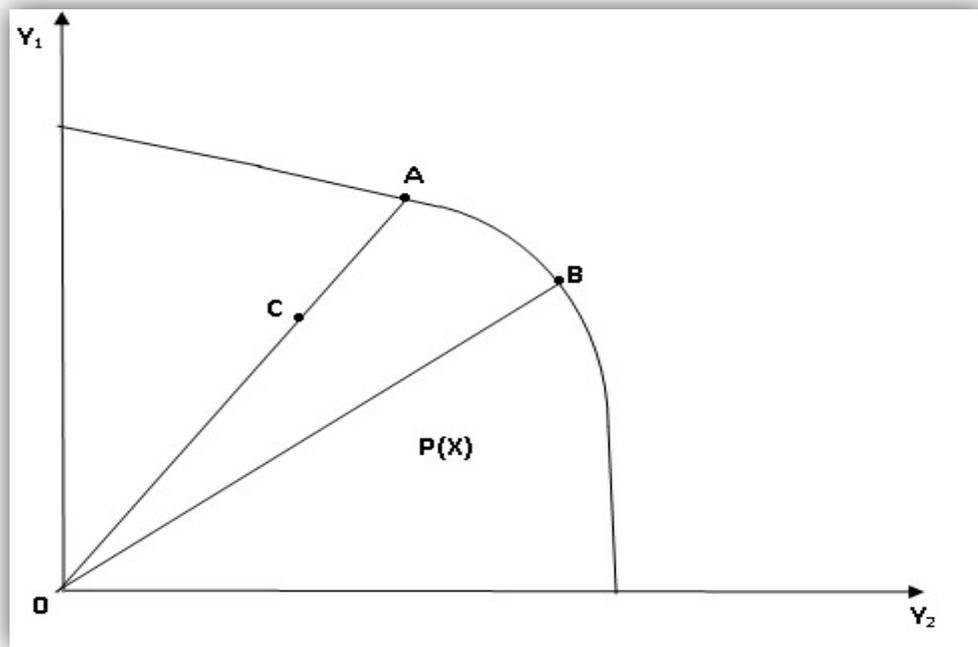
la traduit comme la capacité d'une firme à maximiser ses outputs pour un niveau donné d'inputs. Farrell (1957) approfondit le concept en comparant la performance observée à la performance optimale potentielle. Il en est découlé le concept de fonction distance introduite simultanément par Malmquist (1953) et Shephard (1953). Il s'agit d'une mesure qui peut s'obtenir de deux manières : soit la maximisation des outputs pour un niveau donné d'inputs ou la minimisation des inputs pour un niveau donné d'outputs (Koopmans, 1951 ; Shephard, 1953, 1970). L'approche par la fonction distance peut donc se faire soit du point de vue des outputs, soit de celui des inputs.

La fonction distance output de Shephard s'écrit :

$$D_{output}(x, y) = \min \{ \delta \in \mathfrak{R}_+ : (y / \delta) \in P(x) \} \quad (31)$$

Où  $\delta$  représente le facteur d'ajustement de l'efficacité technique, c'est-à-dire le coefficient maximal par lequel les outputs peuvent varier proportionnellement à un niveau d'inputs donné. Par illustration graphique (figure-4) ; soit la frontière de production dans l'espace des outputs ( $Y_1, Y_2$ ) où trois DMUs ( $A, B, C$ ) sont représentés. Alors que  $A$  et  $B$  sont situés sur la frontière et sont donc efficaces ;  $C$ , situé en dessous de la frontière de production est donc inefficace. Et son inefficacité technique se mesure par sa distance à la frontière ; soit :  $\delta = OC / OA$ , tel que  $0 < \delta < 1$  ; et pour tout DMU efficace  $\delta = 1$ .

Figure 4 : Fonction distance orientation output (Shephard)

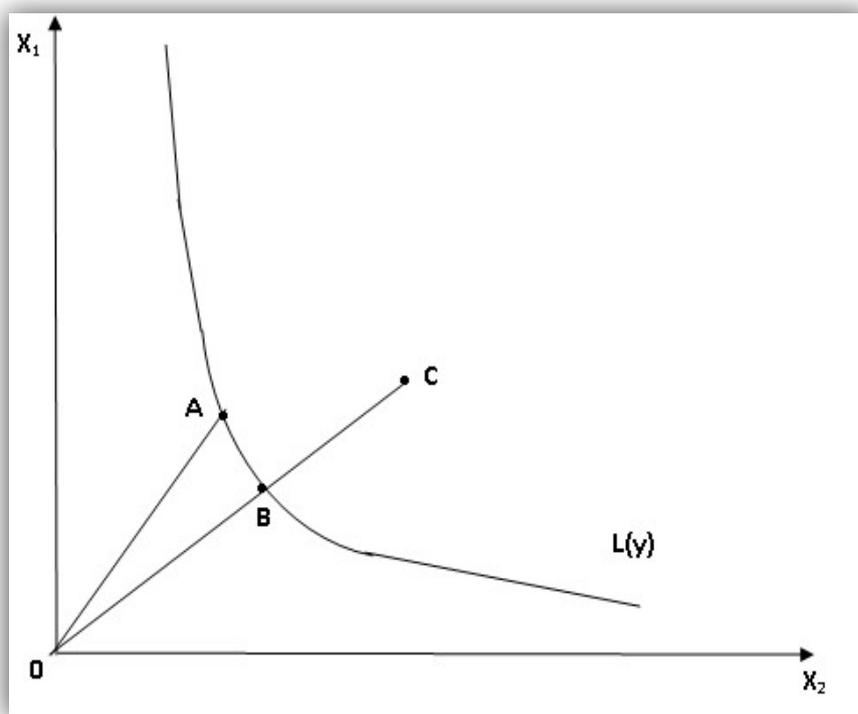


De la même manière, Shephard (1970) propose une fonction distance dans l'espace des inputs de la forme :

$$D_{input}(y, x) = \max \{ \lambda \in \mathfrak{R}_+ : (x / \lambda) \in L(y) \} \quad (32)$$

Avec  $\lambda$  exprimant de combien les inputs peuvent être diminués tout en conservant le même niveau d'output. Il s'agit donc d'un terme de réduction radiale maximum des inputs, ainsi que cela peut être illustré dans la figure-5, les points A, B, C représentent le même niveau d'output, mais C n'est pas sur la frontière, impliquant que cette DMU utilise plus d'inputs qu'il n'en faut pour réaliser la même production. Il est donc possible d'améliorer son efficacité technique de  $\lambda = OC / OB$  représentant le terme de diminution de dotation de facteurs ; avec  $\lambda \geq 1$  ; tel l'inefficacité existe tant que  $\lambda > 1$ , et l'efficacité pour  $\delta = 1$ .

Figure 5 : fonction distance orientation input



### 2.2.3 Les approches d'estimation de la frontière de production

La fonction de production décrit le lien entre une quantité d'inputs donnés et le maximum d'output réalisable. Malgré son importance pour l'analyse économique cette relation n'est pas facile à observer ex-ante. Aussi, les économistes se sont-ils intéressés à la reconstituer ex-post. L'outil économétrique se présente alors comme un recours précieux pour l'estimation. C'est par la méthode des moindres carrés ordinaires que l'approximation de la fonction de production a commencé à se traduire. Mais, celle-ci s'apparente plus à une fonction moyenne, insatisfaisante pour reproduire des frontières de production appropriées. A partir des années 1950, l'estimation des fonctions de production (Forsund et al., 1980 ; Coelli et al., 2005) devient un vrai enjeu économique. Les premiers travaux sont l'œuvre de Koopmans (1951), Debreu (1951), Shephard (1953) et Farrell (1957). Ces auteurs font reposer la théorie walrasienne de la production sur le concept d'ensemble de production possible que diverses contributions enrichiront.

Dans les années 1980, de nombreux économistes font de la PGF l'outil de comparaison internationale pour étudier la dynamique des économies et leur aptitude à se rapprocher les unes des autres par l'amélioration de leur technologie et de leur efficacité. D'abord par

l'innovation qui déplace la frontière de production dans le pays leaders et l'adoption ; ensuite par l'imitation permettant aux pays suiveur l'accroissement de leur efficacité et le rattrapage des nouvelles frontières de production (Boussemart et al., 2011 ; Shryock, 2013). Le taux de croissance de la PGF se présente alors comme un facteur déterminant dans l'analyse de la frontière de la production et l'analyse de l'efficacité/inefficacité des économies.

Les travaux d'analyse de la convergence de la productivité recourent à trois approches différentes de l'estimation de la frontière de production reposant sur des hypothèses plus ou moins contraignantes : Les approches paramétriques, semi-paramétriques et non paramétriques.

Dans les approches paramétriques, la frontière de production est supposée avoir une forme fonctionnelle définie. La plus connue est la fonction dite "Cobb-Douglas " qu'utilise Solow (1957). Elle repose sur les hypothèses des rendements marginaux décroissants, de rendements constants à l'échelle, de taux substitution unitaire entre les facteurs. Ces hypothèses sont jugées trop restrictives. Ainsi certains travaux admettent que les fonctions de production peuvent avoir des élasticités de substitutions constantes sans être unitaires (fonction CES). Ces mêmes fonctions permettent aux rendements à l'échelle d'être croissants ou décroissants suivants les données observées (Nadiri, 1970). A la suite de Denison (1962), Christensen, Jorgenson et Lau (1971) construisent une fonction de production dite translog, qui permet au processus de production d'être plus flexible et de mieux s'adapter aux données observées. Les économies sont caractérisées par des différences structurelles qu'il convient de prendre en compte pour l'étude de convergence conditionnelles et l'intégration des effets spécifiques, des variables dummy. L'approche paramétrique utilise une forme fonctionnelle de fonction de production. Les estimations intègrent un facteur d'inefficacité traduisant l'écart entre les observations et la technologie idéale supposée refléter l'état optimal potentiel. Les modèles impliquent une spécification d'une fonction de production, supposent la possibilité d'écart à la frontière. Cette approche est plus couramment dite *Stochastic frontier approach (SFA)*.

Mais la plupart des approches précédentes supposent un taux de croissance des PGFs linéaire et surtout identiques à tous les pays. Pourtant certains travaux (Azariadis et

Drazen, 1990 ; Durlauf et Johnson ; 1995) recommandent que les taux soient variables en fonction du temps ou dans tous les caps non-linéaires et surtout différents en fonction des pays ou des groupes de pays. L'approche non-paramétrique permet de dépasser ces limites. La méthode d'estimation par enveloppement de données -(DEA) a été privilégiée dans l'analyse des frontières de technologie. Moins restrictives que les précédentes approches, elles n'imposent aucune forme fonctionnelle à la frontière de production et préconise les possibilités de représenter l'ensemble des activités délimité par un benchmark.

Au cours du temps, la fonction de production n'est pas statique. Malgré la diversité des approches les variations de technologie sont conçues comme des mouvements de la frontière de production sous l'effet de l'innovation. Ce mouvement peut être mis en relation avec le progrès technique, parfois apparentée et même entièrement assimilée à la forme que revêt la fonction de production (Alexopoulos et Nakamura, 2011<sup>26</sup> ; Islam, 2001). Sans qu'il ne soit aisé de déduire les différences de productivité de celle de la forme des fonctions de production ; la différence des propriétés entre elles sont expressives d'autant de différence entre les hypothèses qui président à leur choix (Fagerber, 1995 ; Madsen et al., 2010).

## **2.2 - Les ressorts du changement technique et du rattrapage technologique : l'innovation, la diffusion et l'adoption-imitation**

L'énoncé intuitif de Gerchenkron (1953) laisserait croire que les pays les moins industrialisés de l'Europe de l'Est se verraient progressivement partager la même technologie que ceux de l'Ouest, à mesure que les machines et les procédés de transformation manufacturiers se répandront. Cependant, le rattrapage technologique sera perçu comme un phénomène non automatique (Howitt, 2000). Il se présente plus,

---

<sup>26</sup> Alexopoulos et Nakamura, (2011), Le rapport d'un symposium canadien sur le changement technique et la productivité, en parle de manière imagée « *if we have been living with a huge elephant in the room: we all know it is there and know things about its various parts, and yet, in spite of our best efforts, we cannot quit see how all the parts fit together*” P. 381 -382;

---

comme le résultat d'un processus séquentiel d'innovation, de diffusion et d'adoption ou imitation (Fagerberg, 1995 ; Dowrick et Nguyen, 1989).

### 2.2.1 L'innovation technologique :

C'est l'école Schumpétérienne qui donne à l'innovation ses lettres de noblesse dans la théorie de la croissance. Certes, à partir de l'approche néoclassique standard, le progrès technique a déjà connu sa première phase d'enrichissement par la théorie endogène de la croissance. Passant de la seule amélioration de la qualité du facteur capital vers celle conjointe du facteur travail. Le progrès technique est incorporé dans l'un et l'autre input, grâce à la R&D et à la formation, le progrès technique peut être « *capital saving* » ou bien « *labor saving* » (Brown, 1946 ; Bigman, 1978) et affecter les écarts de productivités, soit en les creusant comme facteur de divergence, soit en les comblant comme facteur de convergence (Aghion et Howitt, 2007 ; Mankiw et al., 1992 ; Lucas 1988). Comin et Mestieri (2013) écrivent: « *New technologies take the form of new production processes, new tools, and new and higher quality goods and services*<sup>27</sup> ».

L'innovation de l'approche Schumpétérienne distingue plus nettement les pays en leaders et followers. L'économie y est assimilée à un organisme vivant évolutif, tout comme en biologie. L'état régulier qui caractérise l'approche de Solow est jugée très théorique. Dans la réalité, l'économie, telle un organisme biologique, passe par des transformations structurelles qui le conduisent d'un état à un autre sans qu'il ne s'agisse d'un état d'équilibre général sous l'influence de facteurs diverses (Verspagen, 2000 ; Wolff, 2014). L'un des moteurs de cette transformation structurelle est l'innovation, comme produit conjoint de la connaissance, du savoir-faire et de l'avancée de la science (Hall, 2011 ; Fagerberg et Vespagen, 2002). Ainsi, plus le niveau d'innovation d'une économie est élevé, plus elle devient efficiente. De nouvelles technologies se substituent aux anciennes par le processus de « *creative-destruction*<sup>28</sup> » (Aghion et Howitt, 1992 ; Kogan et al., 2012 ; Schumpeter, 1986). Il en découle un accroissement de la contribution du ratio du capital

---

<sup>27</sup> Comin et Mestieri (2013), P.3

<sup>28</sup> Le processus de « *creative destruction* » de Schumpeter se réfère à l'idée que par la création de nouvelles technologies détruisent les anciennes.

sur le travail à la production. Par exemple, les indicateurs comme le ratio des dépenses R&D sur le PIB ou celui du nombre de brevets déposés, sont utilisés pour justifier la part expliquée des écarts de productivité due à l'innovation. Entre les utilisateurs des nouvelles technologies et ceux des anciennes ; il se crée et peut se creuser un gap-technologique de telle manière qu'il soit de plus en plus difficile aux seconds de se hisser à hauteurs des premiers, sinon par une technologie encore plus innovante, du moins par l'adoption ou l'imitation des nouvelles techniques des leaders (Benhabib et al., 2014 ; Fu et al., 2011).

Les USA sont restés longtemps leader de l'innovation, puis ont été progressivement rejoints par le Japon et certains pays européens (L'Allemagne, la France etc.). Aujourd'hui de nouveaux pays émergent (Chine, le Brésil, Singapore etc.). Ceux-ci accèdent à des technologies de plus en plus voisines de celles des pays leaders peinent moins à les adopter sinon qu'ils innovent tout autant dans de nouveaux domaines. Leurs inefficacités se réduisent leur inefficacité et se rapprochent du benchmark. Par contre, de nombreux pays trainent avec des technologies peu efficaces, et connaissent un mélange de technologies de diverses générations dont la combinaison ralentit leur rattrapage technologique du benchmark de l'économie mondiale (Growiec, 2012 ; Ho et Hoon, 2009 ; Lindner et Strulik, 2014).

Toutefois, l'innovation est confrontée à la barrière du financement. Depuis la recherche fondamentale jusqu'à la commercialisation d'une innovation, d'une part l'activité de R&D est onéreuse mais en plus l'incertitude plane sur la rentabilité d'un nouveau produit et de sa technologie appropriée (Branscomb et Auerswald, 2002). En conséquence, même si le secteur privé investit dans la R&D, il exprime parfois une certaine aversion au risque lié à de lourds programmes de recherche et ne peut, du reste pas seul supporter le financement de l'innovation. Aussi l'innovation est-elle de plus en plus soutenue par les subventions d'Etat (Clausen, 2007 ; Hall et Lerner, 2009 ; Acemoglu et al., 2013). Contrairement au sens commun, cette pratique n'est cependant pas unanimement appréciée par les économistes. Les subventions ne sont efficaces que si elles vont plus à la recherche fondamentale (Acemoglu et al., 2013, Clausen, 2007) au risque de maintenir des entreprises peu efficaces dans le développement des innovations ou de provoquer une mauvaise allocation des ressources. Par exemple Acemoglu et al. (2013), trouvent que 5% du PIB alloué à des

entreprises de développement provoque une ponction de 1,5% du PIB<sup>29</sup>. Dans ce cas, le financement public de l'innovation se fait au détriment de l'efficacité de la technologie. Cependant l'innovation ne devient bénéfique tant pour la chaîne de création de la nouvelle technologie que pour l'ensemble de la société que dans la mesure où elle est diffusée. Bien que certaines d'entre elles, les innovations de technologies stratégiques - par exemple, technologie militaire, spatiale, médicale, etc. aient besoin d'être sécurisées pour conserver à leur producteur les parts de marché (quasi-monopole) nécessaires au retour d'investissement suffisant pour couvrir les coûts de recherche et de développement (Miles et Green, 2008 ; Venohr et Meyer, 2007 ; Mallik, 2004).

### 2.2.2 La diffusion de la technologie

Quand il introduit le progrès technique dans son modèle de croissance, Solow (1956) le présente comme un bien public accessible à tout. Puisque, une fois découverte, toute nouvelle idée est disponible et à la portée de tous et peut donc être utilisée comme technologie sans exclusion. Les théoriciens de l'approche endogène estiment que cette générosité de penser n'est pas toujours compatible avec les faits. Pour Romer (1990), l'idée d'un progrès technique non-rival<sup>30</sup> est acceptable, en revanche, son caractère de non-exclusion est discutable, parce qu'il bute sur les conditions d'acquisition de la technologie. Celle-ci a un coût et peut être protégée par une réglementation ou codée en accessibilité et suppose un niveau de connaissance suffisant pour l'utiliser (Dosi et Nelson, 2010 ; Johnson et al., 1997). Cette restriction dans la disponibilité de la technologie, accroît son impact dans l'explication de la différence des productivités entre économie. Comprendre son mécanisme de diffusion contribue à mieux cerner son potentiel de convergence/divergence.

La dissémination de la technologie entre les firmes ou les pays est généralement exprimée en termes de diffusion ou de transfert. Ces termes sont en général conceptuellement

---

<sup>29</sup> Acemoglu et al. (2013), in abstract

<sup>30</sup> Romer (1990), P 573-575. L'économie des Finances publiques revêt le bien public de deux propriétés : il est non-rival, parce que son utilisation par un agent, ne peut priver un autre de s'en servir. Il est non-exclusif, puisqu'aucun agent ne peut être exclu de son utilisation.

distincts (Stewart, 1987 ; Rogers, 1995) et rarement assimilables l'un à l'autre (Comin et Hobijn, 2010 ; Kelly, 2012). Parce qu'au transfert est associée l'autorisation d'exploiter l'ingénierie et les droits attachés à la licence du produit. Il impliquerait l'intention de l'innovateur vers le receveur. Tandis que la diffusion s'entend davantage de la volonté et de l'aptitude de celui qui veut adopter la nouvelle technologie. Elle n'implique pas l'intention de l'innovateur de passer la technologie au nouvel exploitant. Malgré cette distinction, dans l'un et l'autre cas, il s'agit du passage de la technologie des innovateurs vers les autres utilisateurs futurs.

Comin et Hobijn (2010) expliquent comment, après la seconde Guerre mondiale, la diffusion technologie des USA a permis à l'Europe et au Japon de se reconstruire. En plus de l'aide financière et technique, l'écart technologique a été réduit grâce aux échanges et aux mesures institutionnelles qui ont permis la propagation d'un nouveau savoir-faire.

Tout comme l'innovation, la diffusion et/ou le transfert des techniques, même rudimentaire, a caractérisé les relations entre les communautés humaines et contribué à l'expansion de meilleures pratiques agricoles, artisanales etc. (Mansfield, 1975 ; Ramanathan, 2008). La particularité de l'ère contemporaine réside dans la diversité des canaux et la vitesse de la diffusion des innovations techniques (Comin et Mestieri, 2010 ; 2013). Parmi toutes les inventions, quelques-unes constitueront des paradigmes<sup>31</sup> technologiques (la vapeur, l'essence, l'électricité, l'informatique, ect.). Ces nouvelles générations techniques se développent en des trajectoires<sup>32</sup> plus ou moins longues (Dosi, 1982 ; Peine, 2006). Leur expansion tient au fait qu'elles ont accru l'efficacité du ratio K/L, augmenté les profits économiques et possède

---

<sup>31</sup> Les paradigmes technologiques sont définis par Dosi (1982) comme des types de solutions assortis à des problèmes technologiques bien donnés. Les solutions étant choisies en fonction de principes scientifiques utilisant des matériaux technologiques. Ces paradigmes deviennent économiques quand ils induisent des changements structureaux dans les prix relatifs des facteurs et conditionnent la production et la distribution. Perez (1983, 1985) parle alors de paradigmes technico-économiques.

<sup>32</sup> Reprenant le concept de « technological trajectory » de Dosi (1982), Zhong et Verspagen (2016) précisent que la trajectoire d'une innovation peut être considérée comme des séquences d'innovations interdépendantes et cumulatives qui progressent par touches successives en fonction des avancées scientifiques. La nature des trajectoires est déterminée par l'environnement économique en réponse aux besoins des marchés nouveaux.

même les avantages de bien-être social des pays qui les utilisateurs déjà et offrent les mêmes opportunités aux ceux qui les convoitent (Comin et Hobij, 2010 ; Keller, 2004). Pour Keller (2004), La technologie transite d'un pays vers un autre via les échanges commerciaux avec le pays leader, les accords de coopération, de partenariats scientifiques, les IDE, soit dans les effets de débordement via un nouveau pays utilisateur. La diffusion peut également être soutenue par les Etats, favorisée par la proximité géographique ou extorquée par l'espionnage industriel (Mokyr, 2005). Autant la diffusion est nécessaire à la technologie pour en assurer la rentabilité, autant certaines nécessitent une protection de droits liés à leur exploitation pour leur conserver les marges substantielles indispensables à leur survie - brevets, certificats, licences, etc.- (OECD, 2004 ; Hall, 2003).

Sous l'angle du processus de rattrapage technologique, Keller regroupe en trois axes l'influence de la diffusion : *i)* on constate que la technologie d'un pays appartient au benchmark si d'une part il a la plus grande part dans les travaux de R&D et la vitesse de diffusion de sa technologie est parmi les plus élevées ; *ii)* La R&D nationale peut s'enrichir du travail de R&D de l'extérieur ; *iii)* les meilleures technologies déjà existantes à l'extérieur pourront améliorer la PGF domestique. En somme la diffusion est un potentiel de convergence ou de divergence qui n'est effectif qu'en fonction de l'adoption qu'elle suscite.

### **2.2.3 L'adoption ou l'imitation technologique**

L'adoption de nouvelles technologies constitue un réel enjeu de performance (Roger, 1995) puisqu'elle compterait pour près de 90% de la performance d'une économie non leader (Keller, 2004). L'habilité à adopter les meilleures technologies est un atout de réduction d'inefficacités et de convergence des PGF. Dans la littérature économique, la problématique de l'adoption de nouvelles technologies est s'accompagne de celle du rôle des facteurs économiques, sociaux et institutionnels dans l'amélioration des performances productivites des individus, des firmes et des pays.

Pour l'approche économique, la décision de choisir est avant tout un acte rationnel par lequel le décideur est mû par un souci d'optimisation et passe par un processus d'analyse efficiente des coûts d'adoption comparés aux avantages économiques de la nouvelle technologie (Sadik, 2008 ; Schiopu, 2015 ; Comin et Hobijn, 2004).

Des coûts sont liés à l'acquisition d'une nouvelle technologie et à la formation du personnel en proviennent des économies de coûts, de l'amélioration de la productivité, de la taille et à terme de la marge (Comin et Hobijn, 2004 ; Hall et Khan, 2003). En plus de ces composantes de la rationalité de l'entrepreneur, Certains auteurs évoquent d'autres arguments. Tels que la préférence des consommateurs (Dilaver, 2014), la stratégie de préservation de la concurrence des multinationales (Kwon et Chun, 2015), et la disponibilité de l'information portant la nouvelle technologie (Attewell, 1992 ; Comin et Mestieri, 2013) ou de son 'incidence de l'adoption sur le salaire et la mobilité du facteur travail (Chen et al., 2002 ; Moutinho et al., 2015).

L'adoption de la technologie est aussi déterminée par des facteurs d'ordre social. Au niveau de l'individu, il s'agit du degré de formation (éducation) ou de qualification (de savoir-faire) de la main d'œuvre. Doté d'un niveau de connaissance nouvelle ou renouvelable et de la culture, l'individu acquiert les aptitudes avec lesquelles il peut utiliser le mieux possible la technologie (Benhabid et Spiegel, 2005 ; Basu et Mehra, 2014). L'adoption est d'autant facile, que ce capital humain est proche de celui du leader. Puisqu'il permet de mieux comprendre la conception de ladite technologie. De plus l'innovation permet à la firme ou au pays d'entrer dans un réseau de communication qui accroît l'exploitation de la technologie et participe à améliorer toujours plus la maîtrise de l'outil et d'être au fait des nouvelles avancées de la même technologie ou des technologies similaires ou voisines (Jungmittag, 2004). Aux facteurs plutôt individuels viennent s'ajouter ceux de l'environnement social et géographique. L'adoption de la technologie peut être favorisée par la similarité culturelle (Lee et al., 2013 ; Acemoglu et Dell, 2009) et linguistique (Keller, 2002), la proximité géographique (Audretsch et Feldman, 1996 ; Keller, 2002). L'innovation est d'autant plus facile à adopter que le pays qui la diffuse et celui qui l'adopte appartiennent à la même ethnie scientifique et possèdent des technologies voisines (Kerr, 2008).

De plus, cette proximité de niveau de connaissance et d'aptitude rend possible l'imitation de la nouvelle technologie adoptée (Collins, 2015). Parce que l'innovation ouvre de nouveaux champs d'application et impacte l'environnement de celui qui l'adopte, la nouvelle technologie offre de nouvelles opportunités locales, nationales et internationales. Puisque le capital humain perfectionné par « *learning-by doing* » s'est

doté de connaissances approfondies susceptibles de lui faciliter de copier à l'identique ou de produire une technologie apparentée (Connolly, 2003 ; Addison, 2003). Au-delà de la question de la légalité (Fan et al. 2013 ; Helpman, 1993) que soulève l'imitation, celle-ci serait un incitateur d'innovation (Aghion et al., 2001 ; Mukoyama, 2003), un catalyseur d'échanges commerciaux (Connolly, 2003 ; Gundlach et De Vaal, 2008), facteur de rattrapage technologique entre les pays du Nord et ceux du Sud (Chudnovsky, et al., 2006 ; Zeng, 2001 ; Borata, 2012).

Au niveau de l'ensemble d'un pays, les institutions conditionnent l'adoption technologique puisqu'elles définissent les règles formelles et même informelles de la production et des échanges tant au niveau domestique qu'avec le reste du monde. Dès lors l'environnement institutionnel est susceptible d'inciter ou de contraindre les décisions d'adoption et d'imitation de technologies nouvelles (Williamson, 1991 ; Chan et al., 2008) conditionnant l'accessibilité à des technologies innovantes (Peng et al., 2008 ; Stoneman, et Diederer, 1994). Tout comme Chan et al. (2008) nous retenons que les institutions sont au carrefour de trois axes : l'économique, le social, et le politique.

L'axe économique regroupe les infrastructures (routes et tout équipement de communication), le système éducatif et de santé - écoles, universités, hôpitaux, etc. (Comin et Hobijn, 2004).

Mais également toutes les mesures qui sécurisent les transactions et assurent la crédibilité du système financier - banque, bourses, audits, comptabilité, etc.- (Khanna et Palepu, 1997). La qualité des institutions affecte l'efficacité de la production, de la distribution et de la consommation (Caselli et Coleman, 2001).

L'axe social porte sur les normes, la culture, la langue, les valeurs ou tout autre habitus commun qui sont autant de codes de communication, de repères d'anticipation et des clés de compréhension mutuelle (Schieffelin et Ochs, 1986 ; Jensen et Szulanski, 2004). La similarité des normes sociales, culturelles, éthiques entre les pays est un potentiel d'échange de technologies ; par contre la dissemblance des intuitions sociales va induire des coûts de communication et représenter une source d'incertitude, allant jusqu'à engendrer des aversions au risque (Zaheer et Zaheer, 2005).

Les institutions politiques concernent les pouvoirs réguliers de l'Etat (exécutif, législatif, judiciaire, etc.) en tant qu'il dote l'espace national d'outils de gestion transparente et sécurisée, en maîtrise les frontières et réglemente les échanges avec les autres pays (Chan, et al., 2008). Ces institutions décident des politiques monétaires et budgétaires qui stimulent ou freinent l'accession à de nouveaux équipements à technologie incorporée (Zhu, et al., 2006) ou à un meilleur niveau de formation ou de qualification de la main-d'œuvre.

Une action sur le taux de change ou sur les taux d'intérêt peut impacter le coût des investissements, paralyser les IDE (Alvarez et Marín, 2010 ; Meyer, 2003) et ainsi limiter les opportunités d'adoption de technologies de pointes (Tang et Koveos, 2008 ; Schmidt et Sofka, 2009). Il appartient également au pouvoir politique de décider les différents traités et accords qui règlent les relations internationales sur les produits et services de même sur le degré d'ouverture des économies les unes aux autres y compris les accords monétaires et douaniers dont l'impact sur la diffusion, l'adoption et l'imitation de la technologie est autant interne qu'externe ; facilitant ou non le changement de technologie.

L'adoption et la maîtrise, jusqu'à l'imitation, de technologies nouvelles est un facteur de convergence ou de divergence technologique (Sadik, 2008). Si elle permet *a priori* la convergence, la différence des environnements économiques, sociaux et institutionnels des pays peut conduire à plus de rapprochement des technologies mais ceci peut se faire à des vitesses différentes. Puisque ces facteurs prédéterminent les « *capabilities* » des pays à passer d'une technologie à une autre avec plus ou moins d'aisance et de rapidité. Ceux dont l'environnement est le plus propice se retrouveront au voisinage des mêmes technologies et divergeront de ceux dont l'environnement est porteur de handicaps plus ou moins austères à l'innovation, à sa diffusion et son adoption. Plus un pays, à niveau de technologie inférieure, bénéficie d'un environnement propice, mieux il est apte à accéder à des niveaux de technologie de plus en plus efficace, et plus sa technologie se rapproche de celle des pays innovants et accèdera plus facilement à de nouveaux équipements incorporant de la technicité nouvelle et à un nouveau savoir-faire plus performant (Sadik, 2008).

## Section 3 - les convergences de PGF : Catching-up et capital deepening

Malgré la place de choix que l'approche néoclassique reconnaît au progrès technique incorporé au capital (Baumol, 1986 ; Olson, 1982) ou au travail (Abramovitz, 1986 ; Mankiw et al., 1992 ; Nelson et Phelps, 1966), les écarts de productivités entre pays sont insuffisamment expliqués. Et même sous l'hypothèse du caractère de bien commun du progrès technique, certains pays connaissent des taux de croissance plus importants que d'autres. Le sujet du « *Catch-up and falling behind* » devient un thème de contribution de nombreux travaux à l'explication de la croissance et des mécanismes de convergence des productivités (Abramovitz, 1986 ; De la Fuente, 1995 ; Stockey, 2012).

L'objectif des théories de la convergence des PGF est de comprendre, expliquer et porter solution à l'écart de productivité. Le gap-technologique  $y$  est central ; le mesurer, le caractériser et en analyser les composantes vont constituer les points de clivage des différentes approches. Considérer la technologie comme librement accessible et donc commune à tous les pays induit une approche de catch-up. En revanche admettre que la différence d'environnement peut conduire à une différence de technologie entre les pays justifie l'adjonction du capital deepening pour rendre la convergence des productivités possible. Cette section comporte ainsi trois points : la problématique du gap-technologique, le rattrapage technologique sous l'hypothèse d'une technologie commune et enfin la convergence des PGF par rattrapage et intensité capitaliste.

### 3.1 - la problématique du gap-technologique

Le concept de « *technology gap* » (Posner, 1961 ; Gomulka, 1971 ; Cornwall, 1976) apparaît dans la littérature de la croissance et de la productivité pour rendre compte de des écarts de performance entre les économies et approfondir les prédictions de du *backwardness* de Gerschenkron (1953). Comment les économies se trouvent-elles en tête ou en queue de peloton et pourquoi ces positions relatives peuvent-elles s'inverser au fil du temps ? La réponse à ces questions est au cœur de la problématique du catching-up. Comprendre les différences de technologie permet de comprendre les faiblesses d'une économie et d'entreprendre les mesures de politique *ad hoc*.

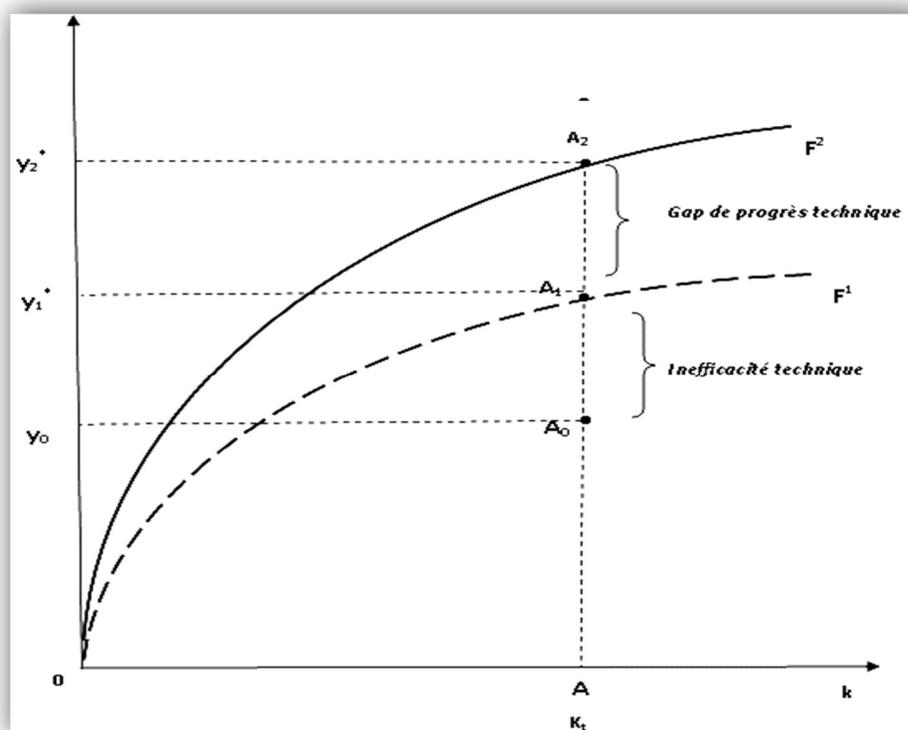
Pour illustrer la problématique du gap-technologique, la figure (6) représente un effet progrès technique sur la frontière de production  $F$  en la faisant passer d'une génération  $F^1$  en  $t$  à  $F^2$  en  $t+1$ . A niveau d'intensité de capital ( $k_t$ ) donné, la productivité atteint un niveau maximum de  $y_2^*$ , à partir de deux niveaux initiaux possibles :  $y_1^*$  correspondant à un niveau de PGF théorique appartenant à la frontière  $F^1$ . Alors que la PGF observée  $A_0$  est distant de la frontière, marquée par une inefficacité. L'approche par les fonctions distance permet d'analyser la variation de la PGF entre  $t$  et  $t+1$  : L'écart d'efficacité entre  $A_0$  et  $A_1$  ; puis l'effet de déplacement de la frontière de  $F^1$  vers  $F^2$  qui s'accompagne du rattrapage technologique de  $A_1$  vers  $A_2$ .

En comparaison internationale, la variation de l'écart technologique est traduite par Apergis et al. (2008) selon la formule suivante :

$$\Delta a = a + \lambda GAP + u \quad (11)$$

Où  $\Delta a$  représente la variation de PGF ;  $a$  la composante spécifique de l'innovation ;  $\lambda$  le paramètre de la vitesse du transfert technologique ;  $GAP$ , l'écart technologique tel que :  $GAP = PGF_1 - PGF_2$  ( $PGF_1, PGF_2$  : les PGFs entre deux pays). Et  $u$ , le terme résiduel. Les gains ou les pertes de productivités peuvent toujours s'analyser en termes d'écarts relativement aux meilleures technologies disponibles qui attestent des meilleures efficacités.

**Figure 6 : fonction distance et problématique du gap-technologique**



La référence à la frontière de production peut être implicite, reflet d'une technologie non exprimée par une forme fonctionnelle. Cette approche appréhende uniquement le segment  $A_1A_2$ ; puisqu'elle fait l'hypothèse d'un comportement optimal de toutes les unités sur le long terme. La variation de la PGF peut ainsi s'envisager selon la méthode absolue ou relative et leur approches comparatives tel que présentés dans la section 1 du présent chapitre. Les premiers travaux d'étude de la croissance de la PGF ne font référence à aucune frontière de production (Islam ; 2001).

Supposer les comportements a priori optimaux peut bien être une hypothèse de recherche que les faits ne confirment généralement pas. La référence à une fonction de production s'accommode de l'idée de la non-optimalité des choix d'allocations de ressources par les pays, même sur le long-terme. Elle conçoit ainsi que le point  $A_0$  puisse être observé comme représentant une allocation de ressources non optimale ne permettant d'obtenir qu'un output de  $y_0$ . Dans ce cas, l'étude utilise le gap technologique comme une distance  $\frac{A^*}{A_i}$  représentative de l'activité d'innovation, de diffusion, d'adoption et d'imitation - des leaders par rapport aux followers.

Les pays peuvent se trouver en situation non efficiente par rapport à la frontière de la production et ainsi permettre d'observer un effet d'inefficacité. De sorte qu'à l'effet induit par l'innovation technologique ( $A_1$  vers  $A_2$ ) vient s'ajouter celui lié au manque de performance technique ( $A_0$   $A_1$ ). L'analyse de l'évolution des efficacités peut s'appuyer sur les fonctions distance dans l'analyse de l'évolution comparée des économies les unes par rapport aux autres.

Quel que soit le traitement de la situation initiale, la problématique du gap-technologique appréhende la position relative des pratiques observées par rapport aux pratiques potentielles. Les pays se répartissent entre ceux qui connaissent des technologies innovantes et les autres qui les adoptent ou bien les imitent. Grâce à l'approche par la fonction distance la comparaison devient possible, les efficacités ou les deux simultanément (gap et inefficacité).

La référence au seul effet du progrès technique compare des niveaux de PGF ou des variables supposées la caractériser : l'innovation - niveau d'éducation, R&D, FDI, etc- (Nelson et Phelps, 1966 ; Benhabib et Spiegel, 1994 ; Cameron et al., 2005). La prise en compte de l'efficacité rapporte le niveau maximum d'efficacité à celui du pays observé - efficacité productive, efficacité technique, etc.- (Nishimizu et Page, 1982 ; Färe et al., 1992 ; Perelman, 1995).

Dans la prise en compte d'une frontière de production pour l'analyse comparée des économies, les travaux se distinguent en deux groupes alternatifs. Ceux qui admettent l'hypothèse d'une technologie commune, la convergence s'analyse alors en catching-up, et ceux qui font l'hypothèse d'une différence de technologie et la convergence tient à la fois du catching-up de de l'accumulation du capital.

### **3.2 - La théorie du catching-up : la convergence des PGF sous hypothèse de technologie commune**

Le concept de catch-up remonterait à Veblen (1915) mais son développement sera l'œuvre des travaux d'auteurs comme Abramovitz (1986), Dowrick et Nguyen (1989), Benhabib et Spiegel (1994) etc. et dans l'approche non-paramétrique avec Färe et al. (1994), Margaritis, et al. (2007), Boussemart et Leleu, (2008) etc. Les nombreuses revues de la littérature

(Fagerberg, 1995 ; De la Fuente, 2002 ; Madsen, 2011, etc.) présentent le phénomène comme évoluant en fonction des approches de la croissance économique. Dans le modèle standard de Solow, le phénomène est absent et le restera dans les premières générations de l'approche néoclassique, malgré l'apport de Uzawa (1963) et Nelson et Phelps (1967) portant sur l'impact de la R&D sur la croissance. Puisque tous les pays partagent la même technologie et sont situés sur la même frontière de production, les écarts de productivité ne peuvent s'expliquer que par la seule intensité capitaliste. Toutefois, La comptabilité de la croissance qui révélera l'important du progrès technique, attirera l'attention sur les différences technologiques et la nécessité du rattrapage entre elles afin d'assurer la convergence des niveaux de vie (Denison, 1967 ; Maddison, 1987 ; Abramovitz, 1986). L'hypothèse formelle du catch-up est énoncée par Abramovitz (1986) comme : « *The larger the technological and, therefore, the productivity gap between leader and follower, the stronger the follower's potential for growth in productivity; and, other things being equal, the faster one expects the follower's growth rate to be. Followers tend to catch up faster if they are initially more backward* <sup>33</sup> ».

### 3.2.1 Le mécanisme du catching-up : Changement technique et rapprochement du benchmark.

Le catching-up suppose un mouvement vers le haut de frontière de production des pays leaders et tente de rendre compte du mécanisme par lequel la technologie des pays lagger se rapproche de ce benchmark.

La figure 7, inspirée de Gouyette et Perelman (1997) illustre en quoi la variation de la PGF des pays permet un rapprochement de leur frontière respective. Soit deux générations de technologie représentées par les frontières de production  $F^t$  et  $F^{t+1}$  ; correspondant à un effet d'innovation technologique entre les dates  $t$  et  $t+1$ . A partir d'une situation initiale observée en  $A_t$  et  $A_{t+1}$  l'une et l'autre non optimales, le raisonnement sous l'hypothèse d'une technologie commune explique comment tout pays  $i$  de situation initiale observée  $(y_t, k_t)$  peut améliorer sa productivité entre  $t$  et  $t+1$  puisque  $(A_2 A_{t+1} / 0A_2) > (A_1 A_t / 0A_1)$ . Cette

---

<sup>33</sup> Abramavitz (1986). P.386-387

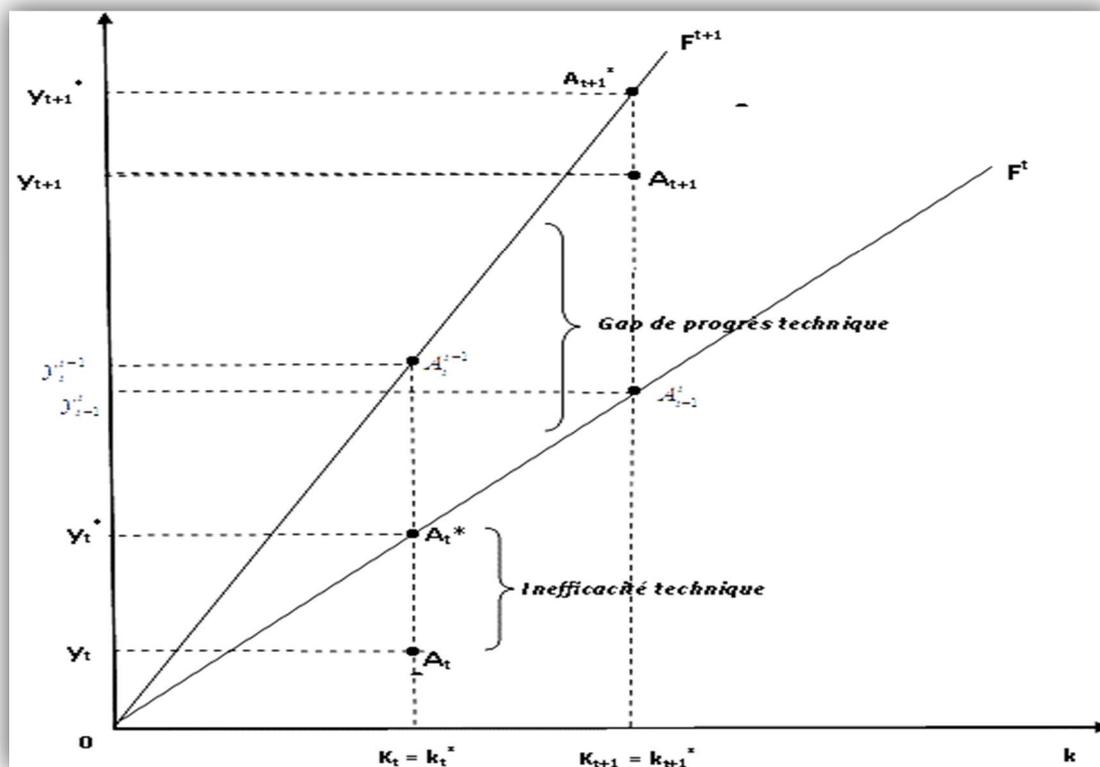
évolution tient à deux mécanismes conjoints : 1) Le premier, dû au progrès technique (le changement technologique) est commun à tous et déplace la frontière de production. 2) Par contre, le deuxième est individuel (l'efficacité technique) et explique comment, bénéficiant de la diffusion du progrès, chaque pays l'adopte ou l'imité pour se rapprocher des meilleures pratiques. Cette dernière composante s'exprime en termes de distances des situations observées  $[(A_t)$  et  $(A_{t+1})]$  par rapport aux frontières correspondantes  $[(F^t)$  et  $(F^{t+1})]$  ; soit les segments  $A_t A_t^*$  et  $A_{t+1} A_{t+1}^*$ .

En nous référant à la technologie d'un pays leader (L), notée  $y_t^L = g(x_t, t)$ , tout autre pays  $i$  peut lui être comparé en fonction de la distance qui les sépare ; soit :

$$D_0^t(x_t^i, y_t^i) = \frac{y_t^i}{y_t^L} \quad (12a)$$

Avec  $(x_t^i, y_t^i)$ , les caractéristiques du pays  $i$  et  $y_t^L$  la technologie du pays leader. Puisque le pays leader est sur la frontière ; tout  $D_0^t(x_t^i, y_t^i) = 1$  exprime une combinaison input-output efficace. Par contre  $D_0^t(x_t^i, y_t^i) < 1$  exprime une efficacité technique. Toute variation de  $\lambda$  se traduit par une variation de la frontière de production, conduisant à une distanciation du par le pays  $L$  ou un rapprochement du pays  $i$  ou une mixe des deux mouvements. L'analyse de cette distance peut se faire en fonction des approches alternatives se référant à une frontière.

Figure 7 : le rattrapage du gap-technologique



Dans le cas de l'approche paramétrique, la fonction distance peut s'écrire :  $e^{u_t} = y_t^i / y_t^L$ , et permet d'exprimer la variation de la productivité sous la forme  $e_{g/t}$  et  $\dot{u}_t$  :

$$\frac{\dot{y}_t}{y_t} = e_{g/x} \frac{\dot{x}_t}{x_t} + e_{g/t} + \dot{u}_t \quad (12b)$$

Pour les « . » indiquent les variations au cours du temps, tandis que  $e_{g/x}$  et  $e_{g/t}$  expriment l'élasticité de l'output au progrès technique (g) et aux inputs (x) au cours du temps (t). Le premier terme de droite exprime la variation des inputs, de sorte que la variation de l'output non expliquée par celle des inputs est formée des termes  $e_{g/t}$  et  $\dot{u}_t$  qui est assimilable à la variation de la PGF (Solow, 1957 ; Nishimizu et Page, 1982, Perelman, 1995), soit la variation du progrès du technique et celle de l'efficacité ; on en déduit que le taux de variation de la PGF peut s'exprimer comme :

$$PGF_t = Tc_t \times Ec_t \quad (12c)$$

Ou encore

$$\frac{dPGF}{PGF} = \frac{dTc}{Tc} + \frac{dEc}{Ec}$$

Dans l'approche non-paramétrique des DEA, sous l'hypothèse de rendement constants à l'échelle, la variation d'efficacité peut, à partir de la figure 7, s'exprimer comme le produit en termes de segments :

$$\left[ \frac{A_2 A_{t+1}}{A_2 A_t} \cdot \frac{A_1 A'_{t+1}}{A_1 A'_t} \right] \left[ \frac{A_1 A'_t}{A_2 A_t} \cdot \frac{A_2 A'_{t+1}}{A_2 A'_t} \right]^{1/2}$$

Et en termes de fonctions distance, la variation de productivité, selon la contribution de Färe et al. (1992) et suivant l'indice de Malmquist se présente également comme le produit de deux termes représentant le changement technique et la variation d'efficacité :

$$M_t = \frac{D_0^{t+1} [x_{(t+1)}, y_{(t+1)}]}{D_0^t [x_t, y_t]} \cdot \left\{ \frac{D_0^t [x_{(t+1)}, y_{(t+1)}]}{D_0^{t+1} [x_{(t+1)}, y_{(t+1)}]} \cdot \frac{D_0^t [x_t, y_t]}{D_0^{t+1} [x_t, y_t]} \right\}^{1/2} \quad (12c)$$

Dans cette approche et sous l'hypothèse des rendements d'échelle constants, la variation de la PGF découle du changement technique et de la variation d'efficacité<sup>34</sup>

La frontière de production des pays leaders définissant l'état actuel de la génération de technologie la plus élaborée, le rapprochement vers ce benchmark ne peut se faire qu'au moyen de l'adoption de cette nouvelle technologie ou son imitation. Ce mouvement suppose l'acquisition de nouvelles aptitudes et leur mise en œuvre dans un processus qui améliore la performance économique. Les travaux empiriques testent cette théorie en mettant l'accent sur une diversité de facteurs supposés être pertinents à cet égard.

---

<sup>34</sup> Un troisième terme lié à la variation de l'efficacité d'échelle peut être calculée sous l'hypothèse d'une technologie à rendements d'échelles variables (Perelman, 1995).

### 3.2.2 Quelques travaux empiriques

L'approche tant paramétrique (SFA) que non-paramétrique (DEA) du rattrapage technologique conçoit l'amélioration de la PGF comme le résultat conjoint du changement technique et de l'efficacité. Connaître les déterminants de ces différentes variations expliquerait alors comment certains pays appartiennent à la frontière de production et comment les autres connaissent des taux de croissance plus élevés au point de se rapprocher, sinon de rattraper les leaders (Khumar et Russell, 2002 ; Desdoigts, 2004 ; Benhabib et al., 2014).

Dans l'approche néoclassique toute innovation est non-rivale et à exclusion limitée, le retard technologique ne peut s'expliquer que par la différence d'aptitude par rapport au progrès technique. Dans cette optique, la littérature du catch-up est riche de vocables traduisant la prédisposition ou la disposition à acquérir la compétence de leader pour innover ou adopter la nouvelle technologique<sup>35</sup> : « social capability » (Abramovitz, 1986) ; « social infrastructure » (Halle et Jones, 1999) ; « absorptive capacity » (Arrow, 1969) ; « innovation capacity » (Furman et al., 2009) ; « social capital » (Akçomak et weel, 2009) ; « capacité technologique » (Collins, 2015) ; « appropriability mechanisms » (Hall et Sena, 2014) etc.

Ces capacités, c'est-à-dire ces facteurs permettant de traduire le potentiel en réalité sont de divers ordres. Ils peuvent cependant se rassembler en trois groupes : ceux facilitant la diffusion de la technologie (niveau d'éducation, de qualification, etc.), ceux permettant les transformations structurelles nécessaires (la mobilité de la main d'œuvre, la réglementation du marché du travail, la géographie, etc.), et l'environnement macroéconomique et institutionnel (les mesures de politique monétaires et budgétaires...). La théorie du catching-up se développe en direction de tout facteur permettant au pays follower d'adopter de nouvelles technologies (Hall et Khan, 2003 ; Papageorgiou, 2000 ; Comin et Hobijn, 2004) et même les imiter (Collins, 2015 ; Mukoyama, 2003 ; Helpman, 1993). Il s'agit alors de comparer

---

<sup>35</sup> « *Social capability* » (Abramovitz, 1986) ; « *social infrastructure* » (Halle et Jones, 1999) ; « *absorptive capacity* » (Arrow, 1969) ; « *innovation capacity* » (Furman et al., 2009) ; « *social capital* » (Akçomak et weel, 2009) ; « *capacité technologique* » (Collins, 2015) ; « *appropriability mechanisms* » (Hall et Sena, 2014) etc

le niveau actuel d'une variable observée, supposée faciliter l'adoption au niveau de la même variable dans le pays leader. Les premiers travaux portent sur l'amélioration du capital (pour la revue de la littérature voir Frantzen, 2000 ; De la Fuente et Domenech, 2001 ; Wolff, 2014). S'inspirant de s'inspirent de Nelson et Phelps (1966), Benhabib et Spiegel (1994) le formulent ainsi :

$$\frac{\dot{A}_i(t)}{A_i(t)} = [g(H_i) - c(H_i)] + c(H_i) \left[ \frac{A_m(t)}{A_i(t)} \right] \quad (13)$$

Où le terme de gauche représente le taux de croissance de la PGF, et celui de droite comportant deux termes : le premier est l'écart entre le taux de croissance économique tenant compte du capital humain,  $g(H_i)$  et le taux de croissance du capital humain  $c(H_i)$  ; et le second comportant  $c(H_i)$  pondéré par la distance entre la PGF actuelle du pays  $i$   $A_i(t)$  et celle de son niveau potentiel  $A_m(t)$  supposé être sur le benchmark. Ce niveau potentiel étant généralement perçu comme celui que l'effort d'innovation du pays *leader* lui a permis d'atteindre grâce à son niveau d'éducation ou ses travaux de R&D<sup>36</sup> (Howitt, 2000 ; Pigliaru, 2003 ; Cameron et al., 2005). Certains auteurs formalisent la capacité de rattrapage, non seulement en fonction d'une variable supposée l'exprimer, mais par une expression représentant la capabilité sociale, elle-même (Boussemart et al., 2006). Cette capabilité sociale prend la forme d'une fraction de la productivité du pays leader :  $y_{it}^d = \rho_{it} \cdot y_{i,t}$ . Le terme de gauche est l'expression de la capabilité (productivité désirée) ;  $y_{i,t}$  la productivité du pays leader, et  $\rho_{it}$  le coefficient partiel. L'étude du catching-up consiste à examiner la dynamique de la productivité selon l'équation :

---

<sup>36</sup> Deux approches spécifiques de l'innovation sous-tendent certains travaux : *i)* La théorie schumpetérienne (Howitt, 2000 ; Agihon et al. (2001) Acemoglu et Zibolitti, 2009) qui fait de l'esprit d'innovation le moteur de la performance productive et le fondement de l'esprit de culture d'entreprise. *ii)* l'approche keynésienne (Palley, 1996 ; McCombie, 1986 ; Botta, 2009) qui confère à l'intervention publique la propriété de stimuler l'innovation, puisque l'activité de R&D est onéreuse et pas immédiatement rentable, les investisseurs ont une aversion à ce risque que l'Etat est le mieux apte à assumer.

$$\ln(y_{i,t}) - \ln(y_{i,t-1}) = \lambda \ln\left(\frac{y_{l,t}}{y_{i,t}}\right) + \lambda \ln(\rho_{i,t-1}) + u_{i,t} \quad (14)$$

Où  $\lambda$  représente la vitesse de rattrapage, le ratio du gap technologique ( $y_{l,t}/y_{i,t}$ ) et  $\rho_{i,t-1}$  la capacité sociale du pays follower. Une approche alternative de l'expression des capacités est le recours à des coefficients de d'innovation et de diffusion de la technologie (Bernard and Jones, 1996a, 1996b ; Cameron et al., 2005). La variation de la PGF

s'exprimerait alors sous la forme :  $\Delta \ln A_{it} = \gamma_i + \lambda_i \ln\left(\frac{A_{l,t-1}}{A_{i,t-1}}\right)$ , avec  $\gamma_i$ , et  $\lambda_i \geq 0$ , le premier

exprimant la vitesse d'innovation et le second la vitesse de transfert technologique. Et le terme le ratio du gap technologique porte sur la distance de la PGF du follower par rapport à celle du leader. Cette forme de  $\beta$ -convergence de la PGF peut être estimée en données de panel, conditionnellement à plusieurs variables environnementales et institutionnelles (taux d'ouverture, taux d'intérêt, FDI, R&D, institutions ...) sensées contribuer à réduire le gap- et favoriser le rattrapage (Madsen et al., 2010 ; Rincon-Aznar et al., 2014 ; Boulhol, 2004).

La théorie du rattrapage technologique s'ouvre aussi à la contribution de l'approche Marx-Schumpeter qui fait de l'activité interne de recherche et développement au sein des pays followers une composante indispensable à la réduction de leur écart avec les pays en avance technologique (Fagerberg, 1995). L'apport de l'approche keynésienne (Palley, 1996 ; McCombie, 1986 ; Botta, 2009) fait de l'intervention de l'Etat un facteur important dans la stimulation de la demande qui permet non seulement d'entretenir un cercle vertueux de l'activité économique grâce à son impact sur la demande mais aussi sur l'activité de R&D elle-même. Dans la nouvelle théorie de la croissance, les effets de la technologie sont amplifiés non seulement à cause de la place prépondérante que prend la R&D (Romer, 1990 ; Grossman et Helpman ; 1991 ; Acemoglu et Robinson, 2006 ; Seck, 2012) mais aussi à cause d'une vision de l'accélération des échanges internationaux, au cours desquels la diffusion de la technologie est plus facile et ses retombées affectent l'activité technologique de chaque économie.

### **3.3 - La convergence par catching-up et capital deepening sous l'hypothèse de technologies différentes**

Deux théories exclusives l'une de l'autre semblaient rendre compte de la convergence des productivités. D'une part, l'approche néoclassique de l'explication par l'accumulation du capital sous l'hypothèse des rendements marginaux décroissants et de l'autre, l'approche de la nouvelle théorie de la croissance de l'explication par le catching-up d'un benchmark commun sous l'hypothèse des capacités différentes. Conduisant à une synonymie entre convergence et catch-up technologique (Abramovitz, 1986 ; Fagerber, 2002). Cependant, selon Dowrick et Nguyen (1989) il conviendrait de dissocier le concept de convergence de celui du catch-up technologique puisque celui-ci peut être biaisé par l'intensité du capital et ne plus correspondre à une vraie convergence. Par ailleurs, selon Temple (1999), à long terme la vitesse de convergence est incertaine, puisque les pays followers doivent non seulement adopter des technologies étrangères plus élaborées, mais en même temps investir dans le capital physique et humain. Cette incertitude ne garantit pas une technologie commune. L'hypothèse de la différence de technologie entre les économies est plus que probable. L'hétérogénéité des technologies dans l'analyse de la convergence peut être envisagée (Acemoglu et al., 2013 ; Eberhardt, et teal, 2010). Entre les économies, les fonctions de production agrégées ne partagent pas les mêmes caractéristiques ni en termes de mix d'inputs ni d'élasticité de substitution entre les facteurs (Phillips et Sul, 2009 ; ECLAC, 2010). Une troisième théorie de la convergence unifie dans une même approche la convergence par catching-up et par capital deepening (de la Fuente, 1995 ; Dowrick et Rogers, 2002 ; Desdoigts, 2004).

#### **3.3.1 Le mécanisme de la convergence par catch-up et capital deepening**

L'approche de la convergence des productivités par le recours aux indices-PGF de Malmquist met en lumière une efficacité économique décomposable en plusieurs parties, dont chacune traduit un aspect spécifique de mécanisme de rattrapage technologique et de celui de l'accumulation du capital (Kumar et Russel, 2002 ; Henderson et Russell, 2005 ; Magariatis et al., 2007).

L'illustration par la figure (8) inspirée Kumar et Russell (2002) reproduit la décomposition tripartite du mécanisme de convergence des productivités. Soit deux technologies en de

génération différentes : une de génération  $t$  ( $F^F$ ) et l'autre de génération  $t+1$  ( $F^L$ ). Dans l'espace  $k = K/L$  et  $y = Y/L$  réalisant, les points  $F$  et  $L$  sont les couples inputs-outputs, sous-éfficaces, observés en  $t$  et  $t+1$ . Les outputs potentiels exprimés en fonction des inefficacités respectives ( $e_F$  et  $e_L$ ) sont  $y_F^* = y_F / e_F$  et  $y_L^* = y_L / e_L$ . Par des traitements mathématiques, Kumar et Russel (2002) utilisent l'indice de Fisher pour obtenir la décomposition tripartite de l'écart de productivité :

$$\frac{y_L}{y_F} = \frac{e_L}{e_F} \left( \frac{y_L^*}{y_F^*} \cdot \frac{y_L^F}{y_L^*} \right)^{1/2} \left( \frac{y_F^L}{y_F^*} \cdot \frac{y_L^*}{y_L^F} \right)^{1/2}$$

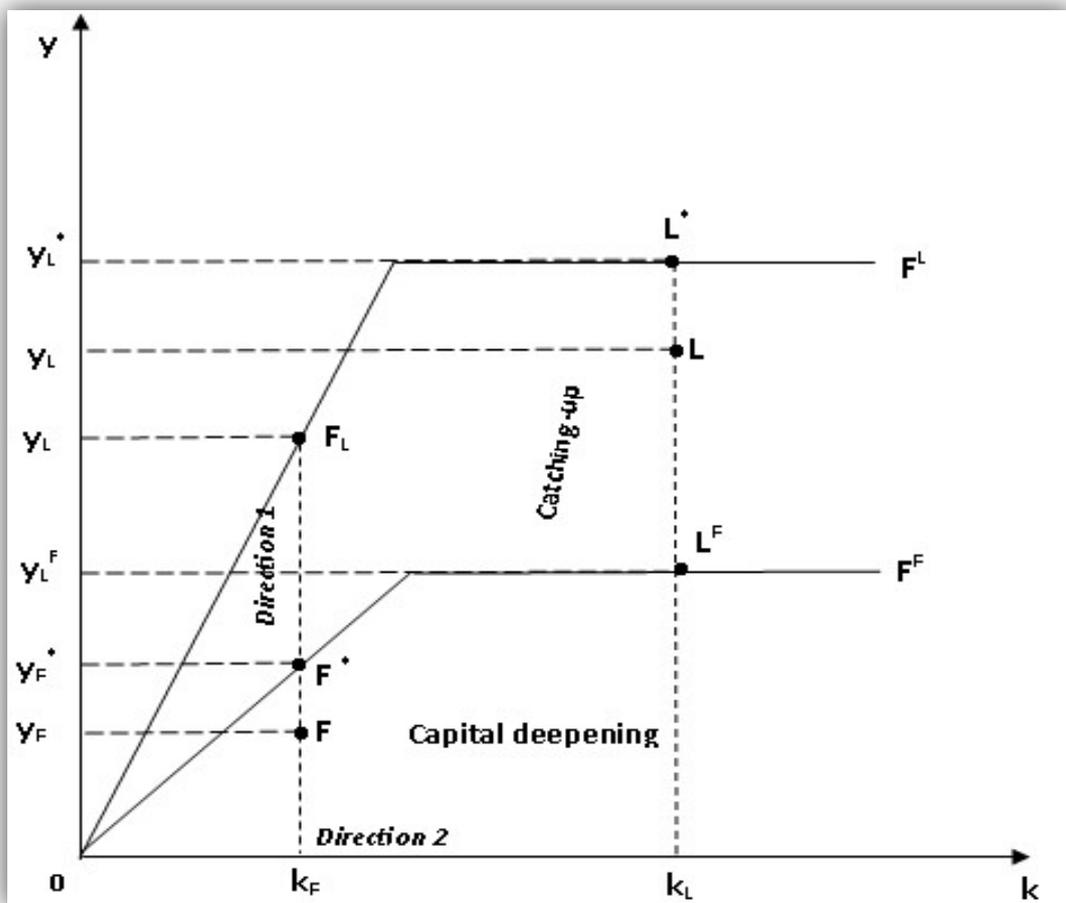
Le premier terme de droite représente le rapport des efficacités techniques, et est ainsi assimilable à un effet d'efficacité, le deuxième est l'expression d'un changement technique, exprimant les outputs observés en tenant compte des changements de technologie, et le troisième terme est un effet de déplacement le long de la technologie nouvelle :

$$\frac{y_L}{y_F} = Ec \times Tc \times Kaccum$$

L'écart de productivité est le résultat composé d'un effet efficacité, d'un effet changement technique et d'un effet capital-deepening.

En admettant que la distance entre les technologies peut s'interpréter comme un écart entre les PGF, sa variation dépend donc de celle de chacun des termes qui le compose. Ainsi la convergence entre les économies peut provenir de la manière dont se réduisent les écarts d'efficacité technique, de changement technique et d'accumulation de capital. La dynamique de la convergence se présente ainsi, comme le résultat de deux cofacteurs qui agissent conjointement pour expliquer la réduction des écarts de niveaux de vie

Figure 8 : La convergence par catching-up et capital deepening



. Ce qu'Islam (2001) exprime par: «*The convergence discussion has shown that there are two processes that may lead to convergence: (1) reaching similar levels of capital intensity, and (2) attaining similar levels of technology. Just as capital accumulation in a capital-shallow country can benefit from capital inflows from capital-rich countries; technological progress in a less developed country can benefit from technology-diffusion/transfer from technologically developed countries*»<sup>37</sup>.

L'association des deux effets - catching-up et capital deepening - dans l'explication de la convergence des niveaux de vie induit la question de savoir d'une part lequel des effets impacte significativement le processus de convergence/divergence d'une économie ? Et

<sup>37</sup> Islam (2001) P. 469

d'autre part, dans quelle direction interagissent-ils l'un sur l'autre ? Dans certains cas l'effet rattrapage est perçu comme amplifiant l'effet accumulation dans des pays (De la Fuente, 1995 ; Filippetti et Peyrache, 2007). Par contre, l'effet capital deepening impacterait plus la convergence que l'effet catch-up (Filippetti et Peyrache, 2007, Nelson et Phelps, 1966), et sur le long-terme, la convergence peut être portée alternativement par l'effet de l'une ou l'autre de ses composantes (Bianchi et Menegatti, 2005). Cette approche bénéficie d'un réel regain d'intérêt dans les travaux empiriques (Bloom et al., 2002 ; Acovone et Crespi, 2010 ; Cordoba et Ripoll, 2008).

### 3.3.2 Quelques travaux empiriques

Les premiers travaux de l'approche paramétrique s'inspirent de la nouvelle théorie de la croissance et utilisent la fonction de production Cobb-Douglas (De la Fuente, 1995 ; Rogers et Dowrick, 2002 ; Desdoigts, 2004). A partir du modèle de Solow, ils expriment le taux de croissance de l'économie en fonction : *i)* un terme relatif au progrès technique prenant en compte les effets spécifiques. Ceux-ci marquent la différence de technologie et la capacité de rattrapage technologique. *ii)* un terme représentant l'intensité capitaliste. Les équations de régression de la  $\beta$ -convergence se faisant sous forme absolue ou conditionnelle. Certains auteurs comme Desdoigts (2004) et Rogers et Dowrick (2002) utilisent un terme de gap technologie exprimé en PGF pour traduire l'effet catch-up. Les modèles utilisant la fonction translog contiennent tout autant les effets spécifiques et le ratio K/L dans leur formulation d'étude de la convergence (Cornwell et al., 1990 ; Battèse et Coelli, 1995). Le recours aux fonctions distances permettant d'examiner les évolutions des efficacités économiques et les changements techniques au cours de temps pour apprécier de leur rapprochement ou leur éloignement les uns des autres ; traduisant la convergence/divergence des économies les unes des autres. Ceci sera traité de manière plus approfondie au cours du troisième chapitre. Toutefois, les facteurs influenceraient différemment la convergence : l'effet catching-up serait plus important (Scoppa, 2013 ; Pigliaru, 2003 ; Madsen, 2010) ; l'effet capital deepening serait peu important mais porté par le capital humain (Rogers et Dowrick, 2002 ; Scoppa, 2013).

Dans l'approche non-paramétrique, la convergence découlant du catch-up et du capital deepening se présente comme le résultat de : *i)* du changement technique, provoquant un

déplacement de la frontière de production ; *ii*) le catching-up traduisant un mouvement vers la frontière ; *iii*) le capital deepening, produisant un déplacement le long de la nouvelle frontière de production (Bloom et al., 2002 ; Trin et Zelenyuk, 2015 ; Bloom et al., 2002). Bien que courante, cette décomposition n'est cependant pas la seule dans la littérature : Bloom et al. (2002) suggèrent de décomposer le rattrapage technologique en un effet PGF et un effet éducation. Les approches d'agrégation d'unités (firmes, pays, etc) introduisent l'effet de l'efficacité structurelle (Karagiannis, 2012 ; Boussemart et Leleu ; 2008) qui, comme nous le définirons dans le chapitre IV peut se rapprocher en partie de l'effet capital deepening.

Cependant les auteurs accordent des influences différentes aux facteurs de convergence : la contribution relative du catch-up serait plus importante (Kumar et Russell, 2002 ; Yamamura, 2007) ; le changement technique aurait davantage profité aux pays riches (Kumar et Russell, 2002), l'accumulation du capital serait source de divergence (Kumar et Russell, 2002 ; Yamamura et shin, 2007 ; Ito et Fukao, 2004).

## CONCLUSION :

Le progrès technique valorisé par l'intuition de Solow impulse une dynamique de changement de la frontière de production et départage les pays entre leaders et laggards, tout en offrant aux followers un potentiel de convergence en fonction de leur capacité. Cette intuition de Gerschenkron s'inscrit dans la théorie de l'analyse de la convergence des productivités comme cet avantage que la seule accumulation de capital ne saurait expliquer.

Mieux qu'un simple résidu tel que le percevait l'approche néoclassique, la PGF est appréhendée comme une « boîte noire » qui révèle mieux les déterminants des écarts de productivité entre les pays et permet d'expliquer la convergence des niveaux de vie comme un phénomène complexe. Elle est le produit d'un ensemble de co-facteurs aussi divers que le niveau d'éducation, l'esprit de créativité, les institutions de régulation de l'économie, le climat, la culture, etc. Traduisant ainsi les capacités ou les aptitudes des pays à innover, à diffuser et à adopter ou imiter les nouvelles pratiques de production. L'ensemble de cet environnement de la productivité, décrit par une large diversité de concepts (*social capabilities, absorptive capacity, innovation capacity, ect.*) accroît le primat de la PGF sur l'accumulation du capital et en fait le concept clé de l'analyse de la convergence des économies sur le long-terme.

Les approches empiriques de la convergence des PGF s'attachent à examiner les performances relatives des économies, en fonction de leurs distances d'avec les meilleures pratiques et de leur dynamique d'éloignement ou de rapprochement au cours du temps. Mesurer les efficacités, les disséquer en des composantes plus expressives de leur contenu permet de mieux comprendre l'origine des écarts technologiques et de mieux expliquer les évolutions relatives. En fonction d'une technologie de production définissant l'ensemble des possibles délimité par les meilleures pratiques, les performances relatives des économies les unes par rapport aux autres tiennent au changement technique mais aussi à l'efficacité du processus de production mis en œuvre. Il en résulte une convergence des PGF perceptible selon deux approches : se référer au seul changement technique conduit à assimiler la convergence à un rattrapage technologique, puisque la frontière de production est alors supposée commune. Cette option est réductrice de la réalité et résiste peu aux faits qui concordent à confronter l'hypothèse d'une technologie susceptible d'être différente. La

---

convergence serait alors le résultat cumulé d'un rattrapage technologique mais aussi d'une accumulation de capital.

L'estimation de la relation entre l'output et les inputs pour en déduire la mesure de la PGF se fait en référence ou non à une forme fonctionnelle définie. Les approches dites paramétriques supposent que le processus de production réponde aux caractéristiques d'une spécification de la fonction de production a priori connue (Cobb-Douglas, CES, Translog, etc). Si ces approches admettent la non-optimalité de la combinaison inputs-outputs du processus de production, elles intègrent alors un terme stochastique permettant de prendre en compte non seulement une composante d'erreur résiduelle usuelle mais aussi une composante d'inefficacité. La frontière de production est alors dite stochastique. Le calcul des différentes formes d'inefficacité qu'elles autorisent et leurs évolutions au cours du temps, permet alors de tester une diversité de forme de  $\beta$ -convergence ou de  $\sigma$ -convergence. A la différence des approches paramétriques, celles dites non-paramétriques ne se réfèrent à aucune forme fonctionnelle a priori et repèrent via les fonctions distance non paramétriques les meilleures pratiques observées définissant la frontière de production comme l'enveloppe supérieure de l'ensemble des techniquement possibles. Par exemple, la méthode d'enveloppement des données (DEA) s'affranchit des contraintes de la forme paramétrique et décompose les inefficacités en plusieurs composantes permettant d'élucider les sources des écarts de productivité et d'en examiner les convergences.

## BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE II

- Abramovitz, M. (1956). Resource and Output Trends in the U.S. since 1870. *American Economic Review*, 46 (2), 5-23.
- Abramovitz, M. (1986). Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind . *The Journal of Economic History*, Vol. 46, No. 2, 385-406.
- Abramovitz, M. A. (1979). Rapid Growth Potential and its Realisation: The Experience of Capitalist Economies in the Postwar Period”,. Dans E. Malinvaud, *Economic Growth and Resources*, vol. 1, *The Major Issues*, (pp. 1-51). London: Macmillan.
- Acemoglu, D. (2009). *Introduction to Modern Economic Growth*. Princeton: Princeton University Press.
- Acemoglu, D., et Dell, M. (2009). Beyond Neoclassical Growth: Technology, Human Capital, Institutions and Within-Country Differences. *Cambridge, MA, The MIT Press*, 1-22.
- Acemoglu, D., et Robinson, J. (2006). Economic backwardness in political perspective. *American Political Science Review* 100, 115–131.
- Acemoglu, D., et Zilibotti, F. (2001). Productivity Differences. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 116, No. 2, 563-606.
- Acemoglu, D., Akcigit, U., Bloom, N., et Kerr, W. (2013). Innovation, Reallocation and growth. *NBER Working Paper 18993*.
- Acovone, L., et Crespi, G. A. (2010). Catching up with the technological frontier: Micro-level evidence on growth and convergence. *Industrial and Corporate Change*, Volume 19, Number 6, 2073–2096.
- Addison, D. (2003). Productivity growth and product variety gains from imitation and education. *Policy Research Working Papers. The World Bank*.
- Aghion, P., et Howitt, P. (2007). Capital, innovation, and growth accounting. *Oxford Review of Economic Policy*, Volume 23, Number 1, 2007, .79–93.
- Aghion, P., Harris, C., et Howitt, P. (2001). Competition, imitation and growth with step by step innovation. *Rev. Econ. Stud.* 68,, 467–492.
- Aghion, P., et Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, Vol. 60, No. 2, 323-351.
- Akçomak, I., et Weel, B.-T. (2009). Social capital, innovation and growth: Evidence from Europe. *European Economic Review* 53, 544–567.
- Alexopoulos, M., et Nakamura, A. (2011). Grappling with the elephant: a symposium on technical change and productivity. *The Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'Economie*, Vol. 44, No. 2, 381-386.
- Alvarez, I., et Marin, R. (2010). Entry modes and national systems of innovation. *Journal of International Management*, 16, 340–353.

- Apergis, N., Economidou, C., et Filippidis, I. (2008). Innovation, technology transfer and labor productivity linkages: Evidence from a panel of manufacturing industries. *Tjalling C. Koopmans Research Institute Discussion Paper Series nr: 08-29*, 1-32.
- Arcelus, F. J., et P., A. (2000). Convergence and productive efficiency in fourteen OECD countries: A non-parametric frontier approach. *Int. J. Production Economics* 66, 105-117.
- Arrow, K. (1969). Classificatory notes on the production and transmission of technical knowledge. *American Economic Review, Papers and Proceedings, Vol. 59*, 29–35.
- attewell, P. (1992). Technology diffusion and organizational learning: The case of business computing. *Organization science*, 3, 1-19.
- Audretsch, D. B., et Feldman, M. P. (1996). R&D spillovers and the geography of Innovation and production. *American Economic Review*, 86, 630–640.
- Azariadis, C., et Drazen, A. (1990). Threshold Externalities in Economic Development. *The Quarterly Journal of Economics*, 105(2), 501-526.
- Balk, B. ( Vol.15, Issue 3). Scale Efficiency and Productivity Change. *Journal of Productivity Analysis*, 159–183.
- Balk, B. (1998). *Industrial Price, Quantity and Productivity Indices, The Micro-Economic Theory and an Application* . Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Barro, R. (2003). Determinants of Economic Growth in a Panel of Countries. *Annals of Economics and Finances*, 231–274.
- Basu, S., et Mehra, M. K. (2014). Endogenous human capita lformation,distance to frontier and growth. *Research in Economics* 68, 117-132.
- Battese, G., et Coelli, T. (1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics* 20, 325-332.
- Baumol, W. J. (1986). Productivity Growth, Convergence and Welfare: What the Long-Run Data Show? . *American Economic Review*, LXXVI , 1072-85.
- Benhabib, J., et Spiegel, M. (2005). Human capital and technology diffusion. *Handbook of Economic growth*, 1, 935 - 966.
- Benhabib, J., Perla, J., et Tonetti, C. (2014). Catch-up and fall-back through innovation and imitation. *Journal of Economic Growth* 19, Issue 1, 1–35.
- Bernard, A., et Jones, C. (1996). Comparing Apples to Oranges: Productivity Convergence and Measurement Across Industries and Countries. *The American Economic Review*, Vol.86, No. 5, 1216-1238.
- Bianchi, C., et Menegatti, M. (2005). Neoclassical versus Technological Convergence:An Empirical Analysis Applied to the Italian Regions. *unpublished Paper Dipartimento di economia politica e metodi quantitativi*, Università degli studi di Pavia.
- Bigman, D. (1978). Technical Change, Distributive Shares, and Aggregation . *Oxford Economic Papers, New Series*, Vol. 30, No. 3 , 434-446.

- 
- Bloom, D., Canning, D., et Sevilla, J. (2002). Technological Diffusion, Conditional Convergence, And Economic Growth. *NBER Working Paper 8713*.
- Borata, T. (2012). Innovation and imitation in a model of North–South trade. *J. Int. Econ.* 87, 365–376.
- Borsi, M. T., et Metiu, N. (2013). The evolution of economic convergence in the European Union. *Discussion Paper Deutsche Bundesbank No 28/2013.*, 1 - 28.
- Botta, A. (2009). A structuralist North–South model on structural change, economic growth and catching-up. *Structural Change and Economic Dynamics* 20, 61–73.
- Boulhol, H. (2004). Technology differences, institutions and economic growth : a conditional conditional convergence. *CEPII, Working Paper No.02*.
- Boussemart, J., et Leleu, H. (2008). Comparing TFP Catching-up and Capital Deepening in US and European Growth: A directional Distance Function Approach. *IESEG-LEM Document de Travail-01*.
- Boussemart, J., Briec, W., Cadoret-David, I., et Tavera, C. (2006). A re-examination of the technological catching-up hypothesis across OECD industries. *Economic Modelling* 23, 967–977.
- Branscomb, L., et Auerswald, P. (2002). *Between Invention and Innovation: An Analysis of Funding for Early-Stage Technology Development*. Washington DC: U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE.
- Brown, W. (1946). Labor-Saving and "Capital-Saving" Innovations. *Southern Economic Journal* Vol. 13, No. 2 , 101-114 .
- Cameron, G., Proudman, J., et Redding, S. (2005). Technological convergence, R&D, trade and productivity growth. *European Economic Review* 49, 775 – 807.
- Caselli, F., et Coleman, W. (2001). Cross-country technology diffusion: The case of computers. *American Economic Review Papers and Proceedings*, 91, 328–335.
- Caselli, F., et Coleman, W. (2006). AssociationThe World Technology Frontier. *The American Economic Review*, Vol. 96, No. 3, 499-522.
- Caselli, F., Esquivel, G., et Lefort, F. (1996). Reopening the Convergence Debate: A New Look at Cross Country Growth Empirics. *Journal of Economic Growth* 1, issue 3, 363–389.
- Caves, D., Christensen, L., et Dieweter, W. (1982). The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity. *Econometrica*, 50, 1393-1414.
- Chan, C. M., Isobe, T., et Makino, S. (2008). Which country matters? Institutional development and foreign affiliate performance. *Strategic Management Journal*, 29, 1179–1205.
- Chen, B.-L., Mo, J., et Wang, P. (2002). Market frictions, technology adoption and economic growth. *Journal of Economic Dynamics & Control* 26, 1927-1954.
- Chenery, H., Robinson, S., et Sirquin. (1986). *Industrialization and growth: A comparative study*. New York: Oxford University Press.
- Christensen, L. R., Cummings, D., et Jorgenson, D. (1980). An international comparison. Dans J. W. Kendrick, R&D. Vaccara, *New developments in productivity measurement*, NBER's

- Studies in income and wealth, vol.41* (pp. 595–698). Chicago: University of Chicago Press.
- Christensen, L., Jorgenson, D., et Lau, L. (1971). Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function. *Econometrica*, vol. 39, 255-256.
- Chudnovsky, D., Lopez, A., et Pupato, G. (2006). Innovation and productivity in developing countries: a study of Argentine manufacturing firms' behavior 1992–2001. *Research Policy*, 35, 266–288.
- Clausen, T. H. (2007). Do subsidies have positive impacts on R&D and innovation activities at the firm level? *Centre for Technology, Innovation and Culture (TIK), University of Oslo Working paper on Innovation Studies No. 20070615*.
- Coelli, T., Rao, P. D., O'Donnell, C., et Battese, G. (1998). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Boston: Kluwer.
- Coelli, T., Rao, P., O'Donnell, C., et Battese, G. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. New York: Springer Science+Business Media, 2th Edition.
- Collins, S., et Bosworth, B. (1997). Economic growth in East Asia: Accumulation vs. assimilation. *Brookings Papers on Economic Activity, issue no. 2*., 135–203.
- Collins, T. (2015). Imitation: A catalyst for innovation and endogenous growth. *Economic Modelling* 51, 299–307.
- Comin, D., et Hobijn, B. (2010). An Exploration of Technology Diffusion. *American Economic Review, Vol. 100, No.5*, 2031-59.
- Comin, D., et Hobijn, B. (2004). Neoclassical Growth and the Adoption of Technologies. *Working Paper 10733*.
- Comin, D., et Mestieri, M. (2010). An intensive exploration of technology adoption. *NBER Working Paper 16379*.
- Comin, D., et Mestieri, M. (2013). Technology Diffusion: Measurement, Causes and Consequences. *NBER Working Papers 19052*.
- Connolly, M. (2003). The dual nature of trade: measuring its impact on imitation and growth. *Journal of Developing Economy* 72, 31 -55.
- Cordoba, J., et Ripoll, M. (2008). Endogenous TFP and cross-country income differences. *Journal of Monetary Economics* 55, 1158–1170.
- Cornwall, J. (1976). Diffusion, Convergence and Kaldor's Law. *Econ. J.* 85, 307-314.
- Cornwall, J., et Cornwall, W. (2002). A demand and supply analysis of productivity growth. *Structural Change and Economic Dynamics, 2002, vol. 13, issue 2*., 203-229.
- Dahlman, C., et L., W. (1988). The meaning of technological mastery in relation to transfer of technology. *Annals of the American Academy of Political and Social Sciences* 458, 12–26.
- De la Fuente, A., et Domenech, R. (2001). Schooling data, technological diffusion and the neoclassical model. *American Economic Review, vol 91, No 2*, 323-27.

- De la Fuente, A. (1995). Catch-up, Growth and Convergence in the OECD. *CEPR Discussion Paper No 1274*.
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica* 19, 273-292.
- Denison, E. (1962). *The Sources of Economic Growth in the United States and the*. New York: Committee for Economic Development.
- Denison, E. (1967). *Why Growth Rates Differ*. Washington D.C.: Brookings Institution.
- Deprins, D., Simar, L., et Tulkens, H. (1984). "Measuring Labor-Efficiency in Post Offices. Dans e. M. Marchand, *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurement* (pp. 243-267). Amsterdam,: Elsevier.
- Desdoigts, A. (2004). Neoclassical Convergence versus Technological Catch-Up: A Contribution for Reaching a Consensus, Problems and Perspectives. *Management*, 3/2004.
- Di Liberto, A., Pigliaru, F., et Chelucci, P. (2008). International TFP dynamics and human capital stocks: a panel data analysis, 1960-2003. *CRENOS Working Paper no, 2008/12*.
- Diewert, W. (1992). The Measurement of Productivity. *Bulletin Of Economic Research*, Vol.44, Issue 3, 163–198.
- Dilaver, O. (2014). Involuntary technology adoptions: How consumer consumerinterdependencies lead to societal change. *Structural Change and Economic Dynamics* 31, 138–148.
- Dobrinsky, R. (2006). Catch-up inflation and nominal convergence: The balancing act for new EU entrants. *Economic Systems* 30 , 424–442.
- Dollar, D., et Wolff, E. (1994). Capital intensity and TFP convergence in manufacturing,. Dans W. Baumol, & al., *Convergence of productivity: Cross national studies and historical evidence,197–224*. (pp. 1963–1985.). New York: Oxford University Press.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy* 11, 147-162.
- Dosi, G., et Nelson, P. (2010). Technical change and industrial dynamics as evolutionary process. Dans B. H. Hall, *Handbook of the Economics of innovation vol 01* (pp. 51-120). New York, London, Paris: Elsevier B.V.
- Dosi, G., et Nelson, R. (2009). Technical change and industrial dynamics as Evolutionary process. *LEM-Sant'Anna School of Advanced Studies, Working paper, 07*.
- Dougherty, C., et Jorgenson, D. (1996). International Comparisons of the Sources of Economic Growth. *The American Economic Review*, Vol. 86, No. 2, 25-29.
- Dowrick, S., et Nguyen, D.-. (1989). OECD Comparative Economic Growth 1950-85: Catch-Up and Convergence. *The American Economic Review*, Vol. 79, No. 5, 1010-1030.
- Dowrick, S., et Rogers, M. (2002). Classical and Technological Convergence: Beyond the Solow-Swan Growth Model. *Oxford Economic Papers*, vol.54, No.3, 369-385.
- Durlauf, S. N., et Johnson, P. A. (1995). Multiple regimes and cross-country growth behaviour. *Journal of Applied Econometrics*, 365–384.

- Easterly, W., et Levine, R. (2001). It's not factor accumulation: stylized facts and growth Models. *World Bank Economic Review* 15(2), 177-219.
- Eberhardt, M., et Teal, F. (2010). Aggregation versus Heterogeneity in Cross-Country Growth Empirics. *CSAE WPS/2010-32*.
- ECLAC. (2010). *Structural heterogeneity and productivity gaps: from fragmentation to convergence*, in *Time for equality: closing gaps, opening trails*. Consulté le 06/04/2016, sur UCL LIBRAR ReadingLists@UCL: [www.rrojasdatabank.info/timeequa2010-3.pdf](http://www.rrojasdatabank.info/timeequa2010-3.pdf)
- Fagerberg, J. (1995). Convergence or Divergence? The impact of technology on "Why growth rates differ"? *J Evol Econ* 5, 269-284.
- Fagerberg, J., et Verspagen, B. (2002). Technology-gaps, innovation-diffusion and transformation: an evolutionary interpretation. *Research Policy* 31, 1291-1304.
- Fan, J., Gillan, S., et Yu, X. (2013). Innovation or imitation? The role of intellectual property rights protections. *Journal of Multinational Financial management*. 23, 208-234.
- Färe, R., et Primont, D. (1995). *Multi-output production and duality: theory and applications*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., et Zhang, Z. (1994). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. *American Economic Review* vol.84, No 1, 66-83.
- Farell, M. (1957). The Measurement of Productive efficiency. *Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General)*, Vol.120, No3, 253-290.
- Filippetti, A., et Peyrache, A. (2013). Is the Convergence Party Over? Labour Productivity and the Technology Gap in Europe. *Journal of Common Market Studies*, 1006-1022.
- Forsound, F., Lovell, C., et Schmidt, P. (1980). A Survey of Frontier Production Functions and their Relationship to Efficiency Measurement. *Journal of Econometrics*, 13, 5-25.
- Frantzen, D. (2000). R&D, Human capital and international technology spillovers: A cross-country analysis. *Scandinavian Journal of Economics*, vol.102, No.1, 57-75.
- Fu, X., Pietrobelli, C., et Soete, L. (2011). The Role of Foreign Technology and Indigenous Innovation in the Emerging Economies: Technological Change and Catching-up. *World Development* Vol. 39, No. 7, 1204-1212.
- Fung, M. (2005). Are Knowledge Spillovers Driving the Convergence of Productivity among Firms? *Economica, New Series*, Vol. 72, No. 286, 287-305.
- Furman, J., Porter, M., et Stern, S. (2002). The determinants of national innovative capacity. *Research Policy* 31(6), 899-933.
- Gerschenkron, A. (1953). *Economic Backwardness in Historical Perspective, A book of Essays*. London: Frederick A. Praeger.
- Gomulka, S. (1971). *Inventive Activity, Diffusion and Stages of Economic Growth*. Aarhus: Skrifter fra Aarhus universitets økonomiske institut nr. 24,.
- Gouyette, C., et Perelman, S. (1997). Productivity convergence in OECD service industries. *Structural Change and Economic Dynamics*, 1997, vol. 8, issue 3, 279-295.

- Grosskopf, S., et Self, S. (2006). Factor accumulation or TFP? a reassessment of growth in Southeast Asia. *Pacific Economic Review, Volume 11, Issue 1*, 39–58.
- Grossman, G., et Helpman, E. (1994). Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *The Journal of Economic Perspectives, Vol. 8, No. 1.*, 23-44.
- Growiec, J. (2012). The World Technology Frontier: What Can We Learn from the US States?\*. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 74, 6*, 0305-9049.
- Gundlach, E., et De Vaal, A. (2008). Technological change, Trade and Endogenous Factor Endowments. *NiCE Working Paper 08-112*.
- Hall, B. (2003). Business Method Patents, Innovation and Policy. *NBER Working Paper 9717*.
- Hall, B. H. (2011). Innovation and productivity. *Nordic Economic Policy Review, Number 2*, 168-195.
- Hall, B. H., et Lerner, J. (2009). The financing of R&D and innovation. *NBER, Working paper, No 15325*.
- Hall, B., et Khan, B. (2003). Adoption of New Technology. *NBER Working Paper 9730*.
- Hall, B., et Sena, V. (2014). Appropriability Mechanisms, Innovation and Productivity. *NBER-Working Paper 20514*.
- Hall, R., et Jones, C. (1997). Levels of Economic Activity across Countries. *American Economic Review, 87*, 173-177.
- Hall, R., et Jones, C. (1999). Why do Some Countries Produce So Much More Output Per Worker Than Others? *The Quarterly Journal of Economics, Vol. 114, No. 1*, 83-116.
- Hartley, J. (2000). Does the Solow residual actually measure changes in technology. *Review of Political Economy, vol. 12, no. 1.*, 27-44.
- Havik, K., McMorrow, K., Röger, W., et Turrini. (2008). The EU-US total factor productivity gap: An industry perspective;. *European Economy, Economic Papers 339*].
- Helpman, E. (1993). Innovation, imitation, and intellectual property right. *Econometrica, 61*, 1247–1280.
- Henderson, D., et Russell, R. (2005). Human Capital and Convergence: A Production-Frontier Approach. *International Economic Review, 46(4)*, , 1167-1205.
- Ho, W. ., et Hoon, H. T. (2009). Growth accounting for a technology follower in a world of ideas: The case of Singapore. *Journal of Asian Economics 20*, 156–173.
- Howitt, P. (2000). Endogenous Growth and Cross-Country Income Differences,. *American Economic Review 90*, 829-846.
- Howitt, P. (2004). Endogenous Growth Productivity and Economic Policy: A Progress Report. *International productivity monitor NUMBER 8 , SP RING 2004*, 1-14.
- Hulten, C. (2001). Total Factor Productivity. A Short Biography. Dans C. Hulten, & al., *New Developments in Productivity Analysis* (pp. 1 - 54). Chicago : University of Chicago Press [www.nber.org/books/hult01-1](http://www.nber.org/books/hult01-1).

- Isaksson, A. (2007). Determinants of Total Factor Productivity: A Literature Review . *Research and Statistics Branch United Nations Industrial Development Organization*.
- Islam, N. (1995). Growth empirics: a panel data approach. *Quarterly Journal of Economics*, 90, 1127–70.
- Islam, N. (2001). Different Approaches to International Comparison of Total. Dans C. Hulten, & al., *New Developments in Productivity Analysis* (pp. 465 - 508). Chicago: University of Chicago Press.
- Islam, N. (2003). What Have we Learnt From the Convergence Debate? *Journal o Economic Survey Vol.17, No.3*, 310- 362.
- Islam, N. (2005). Determinants of Productivity: A Two-Stage Analysis. *International Centre for the Study of East Asian Development Working Paper Series Vol. 2005-13*, 1-53.
- Ito, K., et Fukao, K. (2004). Physical and Human capital deepening and new Trade Patterns in Japan. *NBER-Working Paper 10209*.
- Jensen, R., et Szulanski, G. (2004). Stickiness and the adaptation of organizational practices in cross-border knowledge transfers. *Journal of International Business Studies*, 35, 508–523.
- Johnson, S., Gatz, E., et Hicks, D. (1997). Expanding the content base of technology education: technology transfer as a topic of study. *Journal of technology Education*, 8(2), 35-49.
- Jorgenson, D., et Nishimizu, M. (1978). U.S. and Japanese economic growth 1952–1974. *Economic Journal* 88, 707–26.
- Jungmittag, A. (2004). Innovations, technological specialisation and economic growth in the EU. *International Economics and Economic Policy* 1:, 247–273.
- Karagiannis, G. (2015). On structural and average technical efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, vol. 43, issue 3, , 259-267.
- Keller, W. (2002). Geographic localization of international technology diffusion. *American Economic Review*, 92, 120–142.
- Keller, W. (2004). International Technology Diffusion. *Journal of Economic Literature* Vol. XLII, 752–782.
- Kelly, S. (2012). *Literature review on the Diffusion of Innovations and Best Practice for Technology Transfer*. Porirua: Environmental Science and Research Limited.
- Kerr, W. R. (2008). Ethnic scientific communities and international technology diffusion. *Review of Economics and Statistics*, 90, 518–537.
- Khanna, T., et Palepu, K. (1997). Why focused strategies may be wrong for emerging markets. *Harvard Business Review*, 75, 41–51.
- Kim, J.-I., et Lau, L. (1994). The sources of growth in East Asian newly industrialized countries. *Journal of the Japanese and International Economies* 8, 235–71.
- Klenow, P. J., et G-T., H. (2009). Misallocation And Manufacturing TFP In China And India. *The Quarterly Journal Of Economics* Vol. CXXIV Issue 4.

- Klenow, P., et Rodriguez-Clare, A. (1997). Economic growth: A review essay. *Journal of Monetary Economics* 40, 597-617.
- Kogan, L., Papanikolaou, D., Seru, A., et Stoffman, N. (2012). Technological innovation, resource allocation, and growth. *NBER Working Paper 17769*.
- Koopmans, T. (1951). Analysis of production as an efficient combination of activities. Dans T. Koopmans, *Activity Analysis of Production and Allocation*. New York.: John Wiley and Sons, Inc.
- Krugman, P. (1994). The Myth of Asia's Miracle. *Foreign Affairs* LXXIII(6) , 62–78.
- Kumar, S., et Russel, R. (2002). 2002. Technological Change, Technological Catch-up, and Capital Deepening: Relative Contributions to Growth and Convergence., . *American Economic Review*, 92(3), 527-548.
- Kuznets, S. (1971). *Economic growth of nations: Total output and production structure*. Cambridge: Harvard University Press.
- Kwon, C., et Chun, B. (2015). The effect of strategic technology adoptions by local firms on technology spillover. *Economic Modelling* 51, 13–20.
- Lee, S. G., Trimi, S., et Kim, C. (2013). The impact of cultural differences on technology adoption. *Journal of World Business*, 48, 20–29.
- Lee, Y. T. (1990). An overview of the ASEAN economie. *Singapore Economic Review* 35 (1):, 16–37.
- Lindner, I., et Strulik, H. (2014). From tradition to modernity: Economic growth in a small world. *Journal of Development Economics* 109, 17–29.
- Lucas, R. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.
- Maddison, A. (1987). Growth and slowdown in advanced capitalist economies: Techniques of quantitative assessment. . *Journal of Economic Literature* 25, 649–98.
- Madsen, J. (2007). Economic Growth, TFP Convergence and World Exports of Ideas: A century of Evidence. *Monash University Discussion Paper 01/07*.
- Madsen, J. (2010). Growth and capital deepening since 1870: Is it all technological progress? *Journal of Macroeconomics* 32, 641–656.
- Madsen, J., Islam, M., et Ang, J. (2010). Catching Up to the Technology Frontier:The Dichotomy between Innovation and Imitation. *Canadian Journal of Economics*, vol. 43, issue 4,, 1389-1411.
- Mallik, A. (2004). Technology and Security in the 21st Century A Demand-side Perspective. *SIPRI Research Report No. 20 Oxford University Press*, 1-151.
- Malmquist, S. (1953). Index Numbers and Indifference Curves. *Trabajos de Estadística*, Vol. 4(1), 209-42.
- Mankiw, N., Romer, D., et Weil, D. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107, 407–438.

- Mansfield, E. (1975). East-West technological transfer issues and problems, international technology transfer: Forms, resource requirements, and policies. *American Economic Review*, 65(2), 372-376.
- Margaritis, D., Färe, R., et Grosskopf, S. (2007). Productivity, convergence and policy: a study of OECD countries and industries. *J Prod Anal* (28), 87–105.
- Marti, C. (1996). Is there an East Asian Miracle? *Geneva, Union Bank of Switzerland, Economic Research Working Paper (October)*.
- Mata, T., et F., L. (2009). The Solow residual as a Black Box: Attempts at Integrating Business Cycle and Growth Theories. *History of Political Economy* 41 (annual suppl.).
- McCombie, J. (1986). On some interpretations of the relationship between productivity and output growth. *Appl Econ* 18, 1215-1255.
- Meyer, K. E. (2003). FDI spillovers in emerging markets: A literature review and new perspectives. *DRC working papers, London: Center for New and Emerging Markets London Business School*.
- Miles, I., et Green, L. (2008). Hidden innovation in the creative industries. *NESTA research report, july*, 1-84.
- Miller, S., et Upadhyay, M. (2002). Total factor productivity and the convergence hypothesis. *Journal of Macroeconomics Vol. 24, Issue 2*, 267–286.
- Mokyr, J. (2003). Long-term economic growth and the history of technology. *Preliminary and Incomplete Version of June 2003, Prepared for the Handbook of Economic growth*.
- Mokyr, J. (2005). The Intellectual Origins of Modern Economic Growth. *The Journal of Economic History, Vol. 65, No. 2*, 285-350.
- Morrow, K., Röger, W., et Turrini, A. (2010). *Structural Change and Economic Dynamics* 21, 165–180.
- Moutinho, R., Manso, J.P., Arnaldo, C., et Manuel, A. (2015). Beyond the “Innovation's Black-Box”: Translating R&D outlays into employment and economic growth. *Socio-Economic Planning Sciences* 50, 45-58.
- Mukoyama, T. (2003). Innovation, imitation, and growth with cumulative technology. *Journal of Monetary. Economy.* 50,, 361–380.
- Nadiri, M. I. (1970). Some approaches to the theory and measurement of Total Factor Productivity: A survey. *Journal of Economic Literature*, vol.8, issue 4, 1137-1177.
- Nelson, R., et Pack.H., (. (1999). The east Asian growth miracle and modern growth theory. *The Economic Journal*, Vol. 109, No. 457., 416-436.
- Nelson, R., et Phelps, E. (1966). Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth. *American Economic Review*, vol. 61, 69-75.
- Nishimizu, M., et Page, J. (1982). Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia 1965-78. *Economic Journal* 92, 920-936.
- OECD. (2004). Patents and innovation: Trend and Policy Challenges. *OECD*, 1-32.

- Olson, M. (1982). *The rise and decline of Nations*. New York: Free Press.
- Page, J. M. (1994). The East Asian Miracle: Four lessons for development policy. Dans S. Fischer, & J. Rotemberg, *NBER Macroeconomics Annual* (pp. 219–81). Cambridge: MIT Press.
- Palley, T. I. (1996). Growth Theory in a Keynesian Mode: Some Keynesian Foundations for New Endogenous Growth Theory. *Journal of Post Keynesian Economics*, vol. 19 n. 1, 113-135. .
- Papageorgiou, C. (2002). Technology adoption, human capital, and growth theory,. *Review of Development Economics* 6(3):, 351-68.
- Parente, S., et Prescott, E. (1994). Barriers to technology adoption and development. *The Journal of Political Economy*, volume 102, issue 2, 298-321.
- Peine, A. (2006). Technological Paradigms Revisited How They Contribute to the Understanding of Open Systems of Technology. *Technical University Technology Studies Working Papers* 2, 1-27.
- Peng, M. W., Wang, D., et Jiang, W. (2008). An institution-based view of international business strategy: A focus on emerging economies. *Journal of International Business Studies*, 39, 920–936.
- Perelman, S. (1995). R&D, Technological Progress and Efficiency Change in Industrial Activities. *Review of Income and Wealth Series* 41, Number 3,.
- Perez, C. (1985). Microelectronics, Long-Waves and World Structural Change New Perspectives of Developing Countries. *World Development*, 17.
- Perez, C. (1983). Structural Change and assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems. *Futures*, vol. 15, n°5.
- Phillips, P., et Sul, D. (2009). Economic Transition and Growth. *J. Appl. Econ.* 24, 1153–1185.
- Pigliaru, F. (2003). Detecting Technological catch-up in Economic convergence. *Metroeconomica* 54:2 & 3, 161-178.
- Posner, M. (1961). International Trade and Technical Change. *Oxf Econ. Pap.* 13, 323-341.
- Poter, M. (1998). *Competitive Strategy, Techniques for analyzing industries and competitors*. New York: Free Press .
- Ramanatha, K. (2008). An Overview of Technology Transfer and Technology Transfer Models. Dans K. Ramanatha, *Transfer and small & medium enterprises in developing countries*.
- Reati, A. (2001). Total factor productivity – a misleading concept . *BNL Quarterly Review*, no. 218, 314-332.
- Rincon-Aznar, A., Foster-Mcgregor, Stehrer, R., Vecchi, M., et Venturini, F. (2014). Reducing Productivity and Efficiency Gaps: the Role of Knowledge Assets, Absorptive Capacity and Institutions. *WIIW Research Report* 396.
- Rogers, E. M. (1995). Diffusion of innovations. *New York, free press*.

- 
- Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, , vol. 98, no. 5.
- Sadik, J. (2008). Technology adoption, convergence, and divergence. *European Economic Review* 52, 338–355.
- Schieffelin, B. B., et Ochs, E. (1986). Language socialization. *Annual Review of Anthropology* 15, 163–191.
- Schiopu, I. (2015). Technology adoption, human capital formation and income Differences . *Journal of Macroeconomics* 45 , 318–335.
- Schmidt, T., et Sofka, W. (2009). Liability of foreignness as a barrier to knowledge spillover: Lost in translation? *Journal of International Management*, 15, 460–474.
- Schreyer, P. (2001). OCDE productivity manual: A guide to the measurement of industry-level and aggregate productivity growth. *OCDE Economic Studies*, No 33, 1-149.
- Schumpeter, B. E. (1986). *History of Economic analysis by Joseph Schumpeter*. [www.eBookstore.tandf.co.uk](http://www.eBookstore.tandf.co.uk): Routledge's collection.
- Scoppa, V. (2013). Quality of Human and Physical Capital and Technological Gaps across Italian Regions. *Regional Studies* 41(5), 585-599.
- Seck, A. (2012). International technology diffusion and economic growth: Explaining the spillover benefits to developing countries. *Structural Change and Economic Dynamics* 23, 437– 451.
- Shephard, R. (1953). *Cost and Productivity Functions*. Princeton: Princeton University Press.
- Shephard, R. (1970). *Theory of Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press.
- Shryock, J. (2013). *The Economic and Performance Impact of Technology Adoption*. Columbia: University of Missouri-Columbia ( PhD. Thesis).
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, No. 3, 312-320.
- Solow, R. M. (2001). Applying Growth Theory across Countries. *the world bank economic review*, vol. 15, no. 2, 283–288.
- Stewart, C. T. (1987). Technology transfer Vs. diffusion: A conceptual clarification. *Journal of Technology Transfer*, 12(1), 71 - 78.
- Stiglitz, J. (1987). *On the microeconomics of Technical progress, Technology generation in Latin American Manufacturing Industries*, Jorge M. KATZ. ( ed) Macmillan.
- Stiglitz, J. E. (2015). Leaders and followers: Perspectives on the Nordic model and the economics of innovation. *Journal of Public Economics* 127, 3–16.
- Stokey, N. (2012). Catching-up and falling behind. *University of Chicago Working paper*, 12.
- Stoneman, P., et Diederer, P. (1994). Technology diffusion and public policy. *Economic Joournal*, 104, 918–930.

- 
- Syverson, C. (2011). What Determines Productivity? *Journal of Economic Literature* 49 (2), 326-65.
- Tang, L., et Koveos, P. E. (2008). Embodied and disembodied R&D spillovers to developed and developing countries. *International Business Review*, 17, 546–558.
- Temple, J. (1999). The New Growth Evidence. *Journal of Economic Literature* Vol. XXXVII , 112-156 .
- Tinbergen, J. (1959). On the Theory of Trend Movements. Dans L. Klaassen, & al., *Jan Tinbergen - Selected Papers* [hdl.handle.net/1765/15944](http://hdl.handle.net/1765/15944) (p. On the Theory of Trend Movements.PDF). Amsterdam: North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Trin, K., et Zelenyuk, v. (2015). Productivity Growth and Convergence: Revisiting Kumar and Russell (2002. *CEPA-Working Paper Series No. WP 11*.
- Uzawa, H. (1963). *Optimal Growth in a Two-sector model of capital accumulation*. Stanford University: California.
- Van Ark, B., O'Mahony, M., et Timmer, M. (2008). The Productivity Gap between Europe and the United States: Trends and Causes. *The journal of Economic Perspectives*, Vol.22 No1, 25-44.
- Veblen, T. (1915). *Imperial Germany and the Industrial Revolution*. Kitchener: Batoche Books, 2002.
- Venohr, B., et Meyer, K. (2007). The German Miracle Keeps Running:How Germany's Hidden Champions Stay Ahead in the Global Economy. *Berlin School of Economics Working paper Paper No 30*, 1-32.
- Verspagen, B. (1991). A New Empirical approach to catching up or falling behind, . *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 2, no. 2 .
- Williamson, O. E. (1991). Comparative economic organization: The analysis of discrete structural alternatives. *Administrative Science Quarterly*, 36, 219–244.
- Wolff, E. N. (1991). Capital Formation and Productivity Convergence Over the Long Term. *The American Economic Review*, Vol. 81, No. 3, 565-579.
- Wolff, E. N. (2014). *Productivity convergence : theory and evidence*. New York: Cambridge University Press, 2014.
- Yamamura, E., et Shin, I. (2007). Technological Change and Catch-up and Capital Deepening:Relative Contributions to Growth and Convergence. *Economics Bulletin* Vol. 15, No. 3, 1-8.
- Young, A. (1995). The tyranny of numbers: Confronting the statistical realities of the East Asian growth experience. *Quarterly Journal of Economics* 110, 641–80.
- Zaheer, S., et Zaheer, A. (2005). Trust across borders. *Journal of International Business studies*, 37, 21–29.
- Zeng, J. (2001). Innovative vs. imitative R&D and economic growth. *J. Dev. Econ.* 64, 499–528.

- Zhong, S., et Verspagen, B. (2016). The role of technological trajectories in catching-up based development An application to energy efficiency technologies. *UNIDO, Department of Policy, Research and statistics Working paper 6/2016*, 1-23.
- Zhu, K., Kraemer, K., et Xu, S. (2006). The process of innovation assimilation by firms in different countries: A technology diffusion perspective on E-business. *Management Science*, 52, 1557–1576.



**CHAPITRE III*****ANALYSE DE LA CONVERGENCE DES PRODUCTIVITES PAR L'APPROCHE  
DES FRONTIERES STOCHASTIQUES : UNE COMPARAISON DE LA ZONE  
EURO AUX AUTRES PAYS INDUSTRIALISES.*****Introduction**

Si de nombreux indicateurs, tant structurels que conjoncturels (PIB/tête, déficit public, dette publique, taux d'inflation, taux d'intérêt, ...), sont utilisés pour analyser la convergence macroéconomique entre les partenaires de la zone euro, assiste-t-on pour autant à une mise en évidence d'un phénomène de rattrapage des niveaux de productivité entre ces mêmes pays comparativement aux autres pays industrialisés ?

La convergence de la productivité globale des facteurs est une caractéristique essentielle pour le maintien d'une union économique et monétaire qui ne souhaite pas développer une solidarité budgétaire entre les partenaires tel que la zone euro. En effet, la suppression des taux de change s'accompagne d'une plus grande transparence des prix. A terme, cette dernière doit aboutir à une convergence des prix des marchandises et des coûts des facteurs de production entre les différentes économies de l'union. De fait, à l'intérieur de cette zone il n'y a plus de possibilité de réduire les écarts de productivité par des ajustements nominaux (dévaluation) et ceci menace d'augmenter le chômage dans les secteurs de biens échangeables les moins compétitifs. Comme les marchés du travail des différentes nations sont peu interconnectés du fait de la faible mobilité géographique et des différences culturelles ou linguistiques des chercheurs d'emploi, des politiques de transferts financiers des régions les plus prospères vers les régions les plus pauvres ou moins productives devraient être mises en œuvre. Dans le cas contraire, la convergence des productivités des pays membres apparaît alors être un indicateur crucial pour prévenir l'instabilité et garantir le maintien de cette zone monétaire.

Dans cette perspective, nous proposons de mesurer les niveaux de productivité globale des facteurs des pays de la zone euro et de tester leur convergence par rapport à ceux d'autres pays industrialisés, regroupés sous la dénomination "autres OCDE". Pour ce faire, nous nous

---

appuyons sur les éléments développés dans les deux premiers chapitres de la thèse et introduisons une approche méthodologique basée sur le cadre conceptuel des frontières de production stochastiques.

Par rapport aux estimations standards des productivités globales des facteurs, notre approche présente plusieurs avantages. Tout d'abord, elle récusé l'hypothèse que chaque pays se situe a priori sur la frontière de production. La possibilité d'existence d'écarts techniques à la frontière de production permet non seulement la comparaison de chaque économie à ses performances passées ; mais aussi à celles des meilleures pratiques de l'ensemble retenu. Ainsi, les biais de mesures de la productivité globale liés à ces inefficacités éventuelles sont évités. Par ailleurs, la détermination du pays leader en termes de productivité ou d'une norme à partir de laquelle sont évalués les écarts de productivité des autres économies ne résulte pas d'un choix arbitraire de l'analyste mais directement de l'estimation de la technologie.

Plus précisément, notre modèle procède d'une interprétation particulière de la fonction de production. Celle-ci est définie comme la frontière du techniquement possible, déterminée par les meilleures pratiques observées (benchmark composé des pays les plus productifs). Via l'estimation de cette frontière, nous décomposons les gains de productivité des économies en deux éléments : la variation de l'efficacité qui rapproche l'économie de son benchmark et le progrès technique qui déplace le benchmark dans le temps. Dès lors, grâce à ces mesures de performances productives il est possible d'étudier le mouvement de convergence des niveaux de productivité globale des facteurs des pays de la zone euro et de le comparer à celui des autres pays de l'OCDE non membres de cette union.

La première section précise le critère de productivité globale retenu et développe la méthode d'estimation économétrique pour obtenir les deux éléments des gains de productivité (progrès technique et efficacité). La deuxième section décrit la base de données "AMECO" de la Commission Européenne et notamment les variables utilisées dans l'analyse ainsi que les résultats des estimations et l'étude de la convergence relative de la productivité globale des facteurs (PGF) entre les pays de la zone euro d'une part et entre les pays du groupe « autres OCDE » d'autre part.

## Section 1 - Gains de productivité globale et frontière de production paramétrique stochastique

Comme nous l'avons mentionné précédemment les gains de productivité globale recouvrent à la fois des éléments d'innovation (shift ou déplacement de frontière de production) et des effets d'efficacité ou de social capabilities (variations de la distance des pays au benchmark). Cette section analyse le rattrapage technologique entre nations par les mesures de ces deux composantes sous-jacentes aux gains de productivité. Plus précisément, elle montre comment l'approche par les frontières de production paramétriques stochastiques est particulièrement adaptée à cette problématique. Ce type de modélisation doit spécifier a priori une forme fonctionnelle précise de la frontière de production et un écart stochastique à la frontière pour chaque économie.

### 1.1 - La mesure des gains de productivité par l'efficacité et le progrès technique

L'estimation d'une frontière de production repose sur l'hypothèse d'une relation entre les quantités maximales d'outputs possibles et celles des facteurs de production mobilisés. Cette relation est construite à partir des meilleures pratiques observées. Elle s'écrit :

$$y_{n,t}^F = f(\mathbf{x}_{n,t}, t) \quad (1)$$

avec :

$N$  = nombre de pays indicés  $n$

$T$  = nombre de périodes indicées  $t$

$y^F$  = output maximal ou potentiel

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_I)$  vecteur des  $I$  inputs indicés  $i$

La quantité d'output effective est donc :

$$y_{n,t} = y_{n,t}^F e^{\mu_{n,t}} = f(\mathbf{x}_{n,t}, t) e^{\mu_{n,t}} \quad (2)$$

où  $e^{\mu_{n,t}} \in [0, 1]$

$e^{\mu_{n,t}}$  représente le niveau d'efficacité du pays  $n$  observé à la date  $t$ .

La différentielle du logarithme de l'équation (2) par rapport au temps précise que la croissance de la production est issue de trois éléments distincts : l'augmentation de l'output due aux

variations des quantités de facteurs pondérées par leurs élasticités output/input respectives, le progrès technique de la frontière et les variations de l'efficacité ; tel que :

$$\left(\frac{dy}{y}\right)_{n,t} = \mathbf{g}_x \left(\frac{d\mathbf{x}}{\mathbf{x}}\right)_{n,t} + h_t + \frac{d\mu_{n,t}}{dt} \quad (3)$$

$\mathbf{g}_x$  représente le vecteur des élasticités de la production par rapport aux différentes quantités d'input  $x_i$  ;

$h_t$  mesure l'élasticité de l'output par rapport au temps (shift ou progrès technologique) ;

$\frac{d\mu_{n,t}}{dt}$  désigne la variation temporelle de l'efficacité du pays  $n$  .

Ainsi, la croissance de la production non expliquée par les variations des facteurs définit le gain de productivité qui est donc égal au progrès technique additionné à la variation de l'efficacité :

$$\left(\frac{dPGF}{PGF}\right)_{n,t} = \left(\frac{dy}{y}\right)_{n,t} - \mathbf{g}_x \left(\frac{d\mathbf{x}}{\mathbf{x}}\right)_{n,t} = h_t + \frac{d\mu_{n,t}}{dt} \quad (4)$$

Dans l'hypothèse où toutes les observations sont situées sur leur frontière de production, le facteur d'inefficacité disparaît et l'équation (4 bis) aboutit au résidu de Solow habituel :

$$\left(\frac{dy}{y}\right)_{n,t} - \mathbf{g}_x \left(\frac{d\mathbf{x}}{\mathbf{x}}\right)_{n,t} = h_t \quad (4 \text{ bis})$$

De plus, si la technologie est à rendements d'échelle constants et si les facteurs de production sont rémunérés à leur productivité marginale alors les élasticités de l'output par rapport aux inputs sont égales à leurs parts respectives dans la valeur de la production :

$$\mathbf{g}_x = \frac{\mathbf{w}\mathbf{x}}{py}$$

avec  $\mathbf{w}$  vecteur des prix des inputs (5)

et  $p$  prix de l'output

Sous ces hypothèses, une mesure comptable des gains de productivité en termes de résidu de Solow peut être obtenue par substitution des taux de variation des variables en temps continu par leurs différences relatives en temps discret. Elle s'identifie à la variation temporelle de l'indice traditionnel Törnqvist de la productivité globale des facteurs.

$$\left( \frac{\Delta PGF}{PGF} \right)_{n,t} = \left( \frac{\Delta y}{y} \right)_{n,t} - \frac{\mathbf{w}\mathbf{x}}{py} \left( \frac{\Delta \mathbf{x}}{\mathbf{x}} \right)_{n,t} \quad (6)$$

Si cette équation comptable permet des calculs relativement simples des gains de productivité, elle présente plusieurs inconvénients. Premièrement, elle ignore les éventuelles erreurs de mesure ou d'échantillonnage. Deuxièmement, elle présume l'absence de tout type d'inefficacité technique et/ou allocative en s'appuyant sur l'hypothèse de la rémunération des facteurs à leur productivité marginale (Grosskopf, 1993). Troisièmement, elle ne permet que des analyses temporelles par pays sans possibilité de comparaisons spatiales.

## I.2 - Le modèle Time Varying Effect comme méthode d'estimation

Aigner et Chu en 1968 sont les premiers à estimer une frontière de production paramétrique incorporant un terme d'efficacité  $\mu$ . Grâce à une spécification Cobb-Douglas et en estimant

le vecteur  $\beta$  des élasticités via un programme linéaire qui minimise  $\sum_{n=1}^N \mu_n$  sous les

contraintes  $\mu_n \geq 0, n=1,2,\dots,N$ , ils obtiennent les écarts entre la production observée et la

production potentielle  $e^{\mu_n} = \frac{Y_n}{e^{\mathbf{x}_n\beta}}$ . En 1972, Afriat utilise un modèle analogue, à la différence

près que les termes d'efficacité sont supposés suivre une loi de distribution gamma et que les paramètres du modèle sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance. Ces premiers modèles d'efficacité paramétriques sont appelés déterministes car la production

observée  $Y_n$  est bornée par la quantité non aléatoire  $e^{\mathbf{x}_n\beta}$ . Dès lors, une limite importante leur

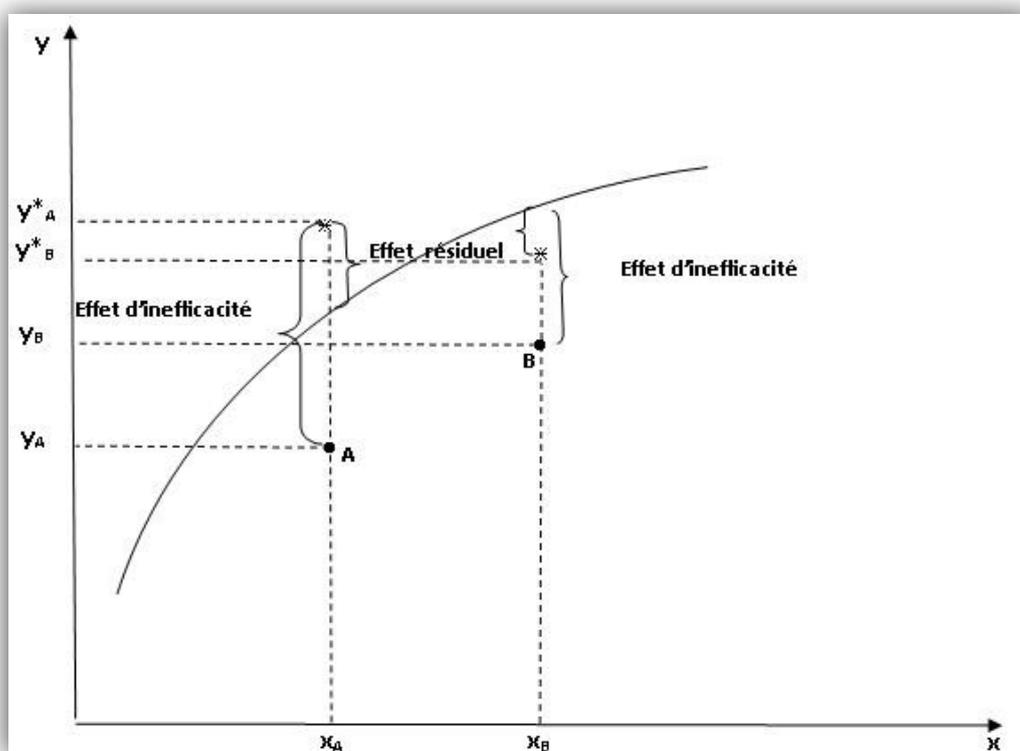
est associée : ces modèles ne tiennent pas compte d'éventuelles erreurs de mesures, de spécification ou de variables omises dans l'estimation du terme d'efficacité ; puisque toute

déviations à la frontière ne résulte que de la composante  $\mu_n$  liée à l'efficacité technique. C'est

en 1977, qu'Aigner, Lovell et Schmidt ainsi que Meusen et Van den Broeck proposent l'approche des frontières de production paramétriques et stochastiques en ajoutant une

erreur aléatoire  $V_n$  au terme initial  $\mu_n$ . Cette prise en compte des effets d'erreurs de mesure ou de facteurs aléatoires sur la production présume que les termes  $V$  sont non autocorrélés, identiquement distribués selon une loi normale d'espérance nulle et de variance constante et aussi indépendants des niveaux d'efficacité  $\mu$  qui, pour leur part, sont supposés suivre des distributions normales positives ou exponentielles. Cependant comme  $V$  peut être positif ou négatif, la production  $Y$  peut maintenant varier au-dessus ou au-dessous de la frontière de production. Ainsi que le montre le graphique 1,

**Figure 1 : frontière de production stochastique**



Ces premières tentatives de modélisation de frontières de production stochastiques ont été testées sur des données cross-section qui n'intègrent pas la dimension temporelle de l'efficacité.

L'utilisation des données de panel permet de pallier cet inconvénient et offre l'avantage d'accroître les degrés de liberté dans les méthodes d'estimation. En effet, la combinaison des variations spatiales et temporelles des données permet de mesurer les gains de productivité résultant conjointement des effets de rapprochement à la frontière (via l'évolution des

termes d'efficacité) et de progrès technique (via les déplacements dans le temps de la frontière). Un autre avantage majeur des données de panel est que leurs méthodes d'estimation associées (effets fixes ou à erreurs composés) ne nécessitent plus de spécifier une distribution a priori des termes d'efficacité (Schmidt, Sickles, 1984).

Dans notre analyse, nous avons retenu une méthode d'estimation paramétrique stochastique appelée « variation des effets temporels » ou « Time Varying Effect » (TVE). Elle fut développée par Cornwell, Schmidt et Sickles (1990) et permet de décomposer  $\mu_{n,t}$  en deux éléments (efficacité et aléa). Plus précisément, elle modélise un effet spécifique pays selon une forme quadratique du temps. Comparativement à d'autres approches comme par exemple celle d'Aigner, Lovell et Schmidt (1977) ou celle de Schmidt, Sickles (1984), elle présente deux avantages : elle ne nécessite aucune spécification a priori de la distribution du terme d'efficacité et elle fait évoluer temporellement les gains de productivité du pays.

La réécriture de l'équation (2) en (2 bis) :

$$y_{n,t} = f(\mathbf{x}_{n,t}, t) e^{\phi_{n,t}} \text{ (2 bis)}$$

permet de scinder le terme  $\phi_{n,t}$  en un effet d'efficacité  $\mu_{n,t}$  et un terme stochastique  $V_{n,t}$  respectant les hypothèses standards d'espérance nulle, de variance constante et de distribution normale :

$$\phi_{n,t} = \mu_{n,t} + V_{n,t} \text{ (7)}$$

Le terme d'efficacité est formulé ainsi :

$$\mu_{n,t} = \theta_n^{(0)} + \theta_n^{(1)}t + \theta_n^{(2)}t^2 \text{ (8)}$$

Il regroupe un effet spécifique usuel  $\theta_n^{(0)}$  avec deux autres paramètres de variation chronologique de l'efficacité technique :  $\theta_n^{(1)}, \theta_n^{(2)}$ .

En choisissant une forme fonctionnelle précise pour la fonction de production  $f$  (Cobb-Douglass ou Translog), l'équation (2 bis) peut être estimée par une procédure appelée

« within généralisé » (WG) du fait que les trois paramètres de l'équation (8) sont spécifiques aux pays retenus dans l'échantillon. L'application de WG aux données aboutit aux valeurs ajustées sous la forme :

$$\hat{\mu}_{n,t} = \hat{\theta}_n^{(0)} + \hat{\theta}_n^{(1)}t + \hat{\theta}_n^{(2)}t^2 \quad (9)$$

A partir desquelles, les niveaux d'efficacité technique ( $ET$ ) sont déduits :

$$ET_{n,t} = e^{(\hat{\mu}_{n,t} - \max_n \hat{\mu}_{n,t})} \quad (10)$$

$\max_n \hat{\mu}_{n,t}$  repère l'observation du panel la plus efficace située sur la frontière de production à la date  $t$ . Ce pays leader n'est donc pas choisi arbitrairement par l'analyste mais résulte directement de l'estimation de la frontière. Finalement, pour chaque pays, les gains de productivité globale sont des fonctions linéaires du temps, résultant de la différenciation de l'équation (9) (variations de l'efficacité technique et du taux de progrès technique estimé) :

$$\frac{dPGF_{n,t}}{PGF_{n,t}} = \hat{h}_t + \hat{\theta}_n^{(1)} + 2\hat{\theta}_n^{(2)}t \quad (11)$$

Tandis que les logarithmes des niveaux de productivité globale suivent des fonctions quadratiques du temps et sont calculés comme suit :

$$Ln(PGF_{n,t}) = \hat{\theta}_n^{(0)} + (\hat{h}_t + \hat{\theta}_n^{(1)})t + \hat{\theta}_n^{(2)}t^2 \quad (12)$$

## Section 2 - Les estimations des productivités globales et l'analyse de leur convergence.

### 2.1 - Présentation de la base de données et des variables retenues.

#### 2.1.1 Les données et la fonction de production

Nous exploitons la base des données macroéconomiques annuelles de l'Union Européenne (AMECO) sur la période 1965-2015. Ces 50 ans de longueur de séries répondent aux exigences des études de convergence, ainsi que des auteurs comme Barro (1991) le recommandent. Notre étude porte sur deux ensembles de pays industrialisés. D'une part, 11 pays de la zone

euro (Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, Finlande, France, Grèce Italie, Irlande, Pays-Bas, Portugal). Nous avons opéré deux aménagements concernant le nombre de pays. L'Allemagne de l'Est et l'Allemagne Fédérale ont été regroupées en une seule économie même avant 1992. Ceci nous semblait mieux approprié pour comparer son évolution économique au sein de la zone euro à celle précédant cette période. Notre choix de retirer le Luxembourg est dicté par le poids particulier de son secteur tertiaire qui en fait un pays trop particulier pour définir la technologie de production retenue dans notre analyse. Par ailleurs, certains pays de la zone euro (Chypre, Estonie, Lettonie, Lituanie, Malte, Slovaquie, Slovénie) n'ont pas été intégrés dans notre base de travail soit du fait de l'absence de données sur une grande partie de la période étudiée, soit du fait de leur trop grande spécificité comme « outliers » potentiels notamment en termes de taille économique. D'autre part, le choix des 11 autres pays de l'OCDE (Australie, Canada, Danemark, Etats-Unis, Islande, Japon, Norvège, Nouvelle-Zélande, Royaume-Uni, Suisse, Suède) repose également sur la disponibilité des données dans la base de données de référence.

La fonction de production relie le PIB ( $Y$ ) à l'emploi ( $L$ ) et au stock de capital fixe ( $K$ ). Le PIB aux coûts des facteurs et le stock net de capital fixe sont mesurés en milliards d'euros à prix constants 2010 respectant la parité de pouvoir d'achat, la quantité de travail est en milliers de personnes et reprend tous les emplois domestiques. Concernant cette dernière variable, le nombre d'heures travaillées ou à défaut le nombre de personnes équivalentes temps plein auraient été mieux appropriés comme mesure mais jusqu'à la fin 2015, ces informations n'étaient pas disponibles pour une majorité de pays ni mises à jour régulièrement dans la base de l'Union Européenne.

### **2.1.2 Les comparaisons des tendances entre la zone euro et les autres pays de l'OCDE**

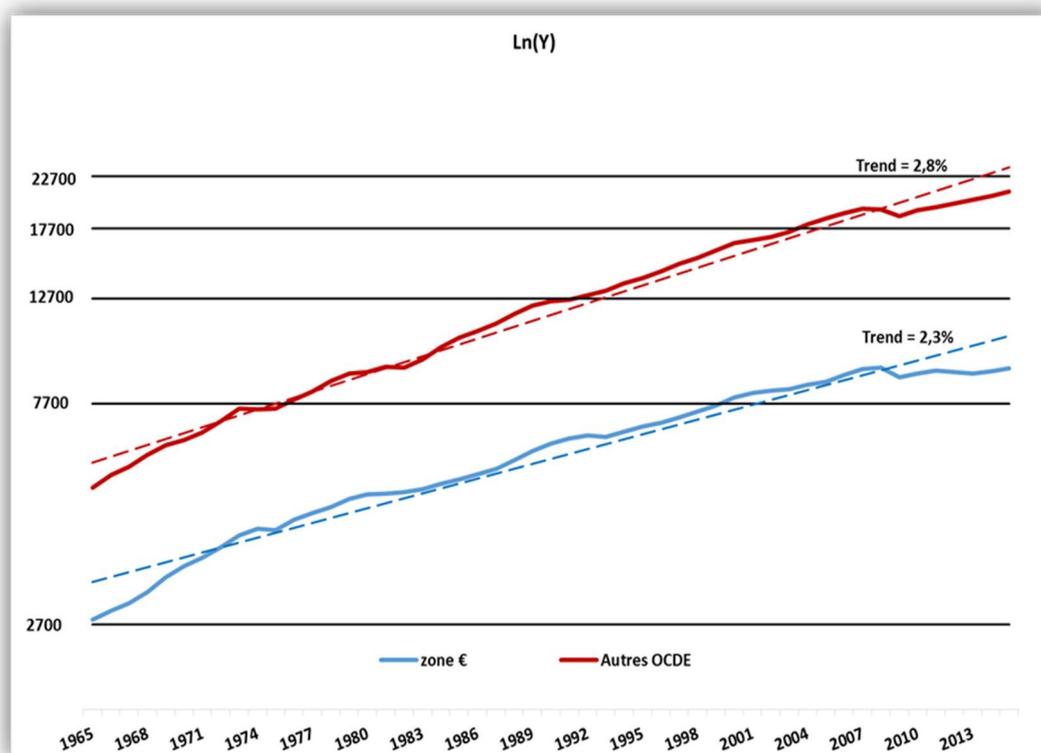
Grâce aux différents trends de la production et des facteurs de production, une brève analyse de l'évolution comparée de la zone euro et de celle des « autres OCDE » permet une vue d'ensemble de l'évolution de la performance de chacune, tant en ce qui concerne le PIB, le capital que le travail. A partir des données exprimées sous forme logarithmique afin de mieux visualiser et comparer les taux de croissance, nous obtenons les représentations graphiques suivantes.

### **L'évolution du PIB**

Avec un trend d'environ de 2.3% sur la période 1965-2015, la zone euro connaît une croissance annuelle inférieure à celle des « autres OCDE » qui dépasse 2,8%. Si, entre 1965 et 2007 pour les deux groupes de pays, les taux annuels varient au-dessus ou au-dessous selon les rythmes des cycles économiques, nous pouvons noter que depuis 2008 les déviations à la baisse par rapport aux trends de longue période sont nettement plus marquées. En effet, de 1986 à 2007, les PIB réels annuels sont supérieurs ou égaux à leurs niveaux tendanciels alors qu'à partir de 2008 les décrochages sont très nets pour les deux zones.

La dispersion des tendances nationales autour de la tendance moyenne du groupe est deux fois plus marquée dans la zone euro que dans les « autres OCDE ». Alors que la France, l'Allemagne, la Grèce et l'Italie ont des tendances respectives inférieures à la moyenne de la zone euro, les autres pays affichent des performances égales ou supérieures. L'Irlande se démarque avec un trend de 4.7%. Les autres pays de l'OCDE sont mieux regroupés autour de leur tendance moyenne. Cependant la Suisse, le Danemark, la Suède, le Royaume-Uni et le Japon font moins bien que la moyenne « autres OCDE » alors que toutes les autres nations enregistrent des performances supérieures.

**Graphique-1 : Evolutions comparées des PIB en milliards d'euros PPA  
(prix constants 2010, ordonnées logarithmiques)**

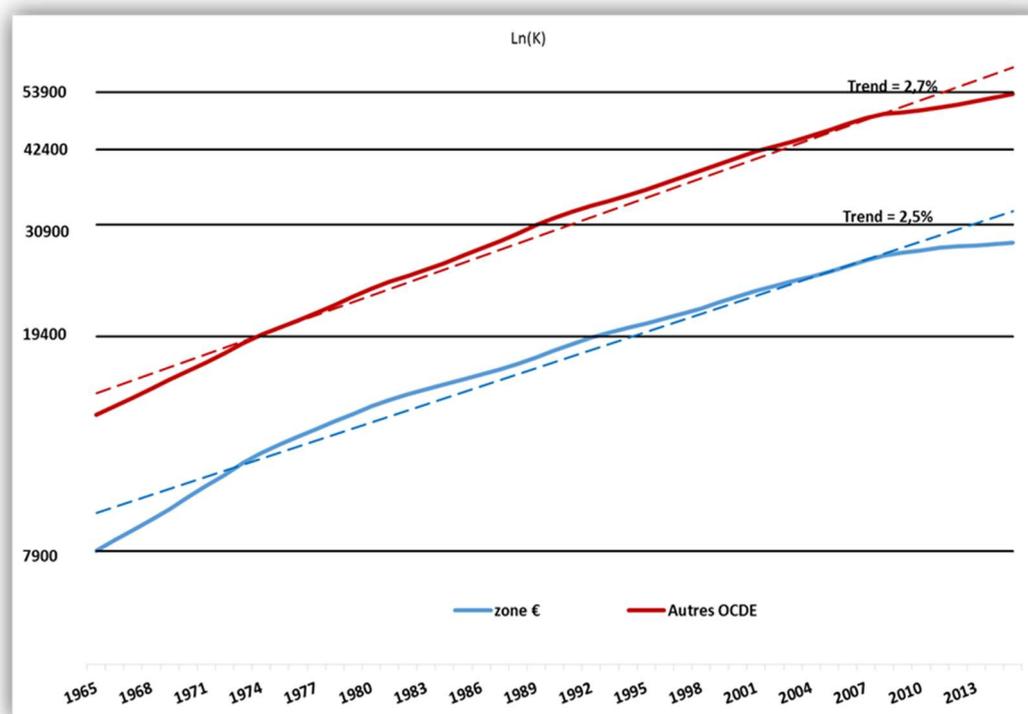


Source : calculs de l'auteur d'après données AMECO.

### L'évolution du stock de capital

L'accumulation du capital se fait à des rythmes annuels assez proches, de sorte que les tendances décrivent des droites presque parallèles : le trend des autres pays de l'OCDE est voisin de celui de la zone euro (respectivement 2.5% et 2.7%). Les évolutions annuelles sont aussi marquées par des déviations aux tendances en début et en fin de période similaires, avec un fléchissement significatif de la croissance du capital à partir de 2008. Néanmoins, les écarts entre les tendances nationales sont plus élevés pour la zone euro que pour l'autre groupe. Ceci dit, cette différence de dispersion des trends du capital est moins marquée que pour celle observée pour les trends de PIB.

**Graphique-2 : Evolutions comparées des stocks nets de capital en milliards d'euros PPA (prix constants 2010, ordonnées logarithmiques)**

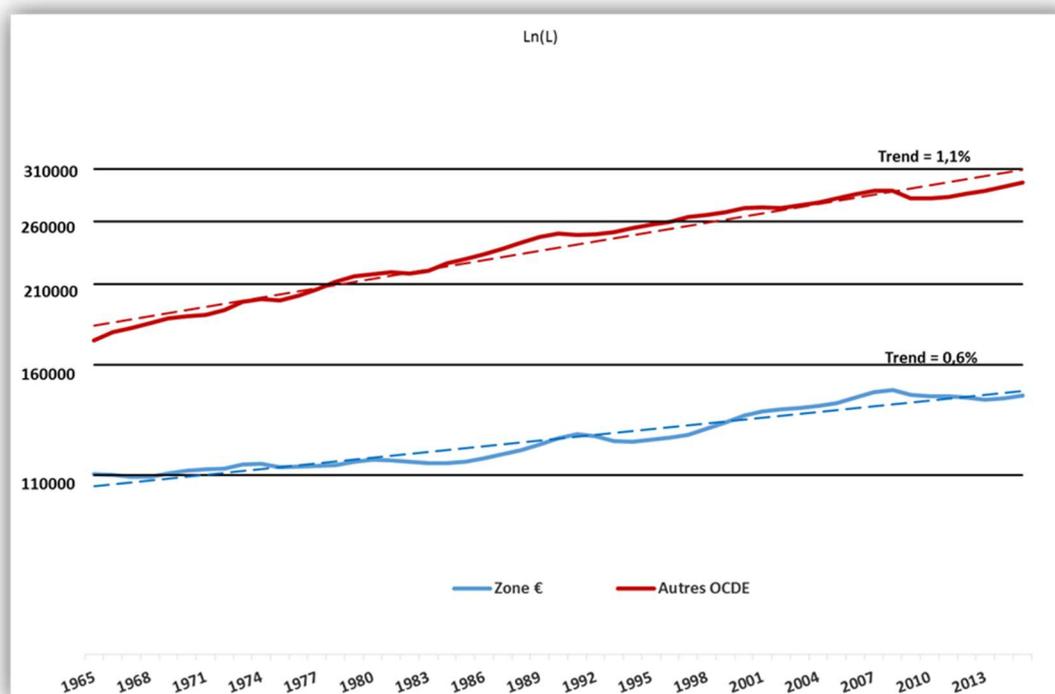


Source : calculs de l'auteur d'après données AMECO

### L'évolution du facteur travail

Le facteur travail évolue plus rapidement dans les autres pays de l'OCDE (au taux de 1,1%) que dans la zone euro (0,6%). Alors que la zone « autres OCDE » n'utilisait que 1,6 fois plus de personnes que l'Euroland en 1965, elle en employait 2 fois plus en 2015, reproduisant le même rapport que dans les années 1994-1998.

**Graphique- 3 : Evolutions comparées du nombre d'emplois en milliers de personnes (ordonnées logarithmiques)**

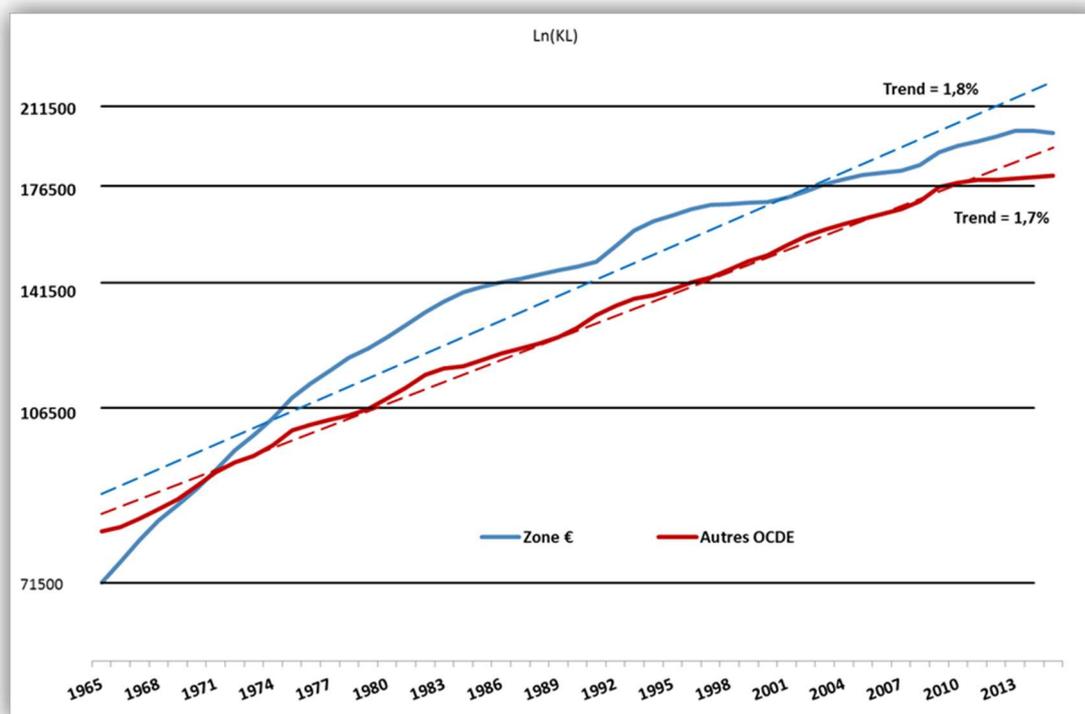


Source : calculs de l'auteur d'après données AMECO

### L'évolution de l'intensité capital/travail

Le trend du ratio capital/travail de la zone euro évolue à 1,8% alors que pour le groupe « autres OCDE » il atteint 1,7%. Ce léger gap de croissance indique que les pays membres de l'UE ont accentué leur intensité en capital par rapport à leurs homologues de la zone « autres OCDE » notamment jusqu'au milieu des années 1990.

**Graphique- 4 : Evolutions comparées de l'intensité capitaliste en euros PPA (prix constants 2010, ordonnées logarithmiques)**

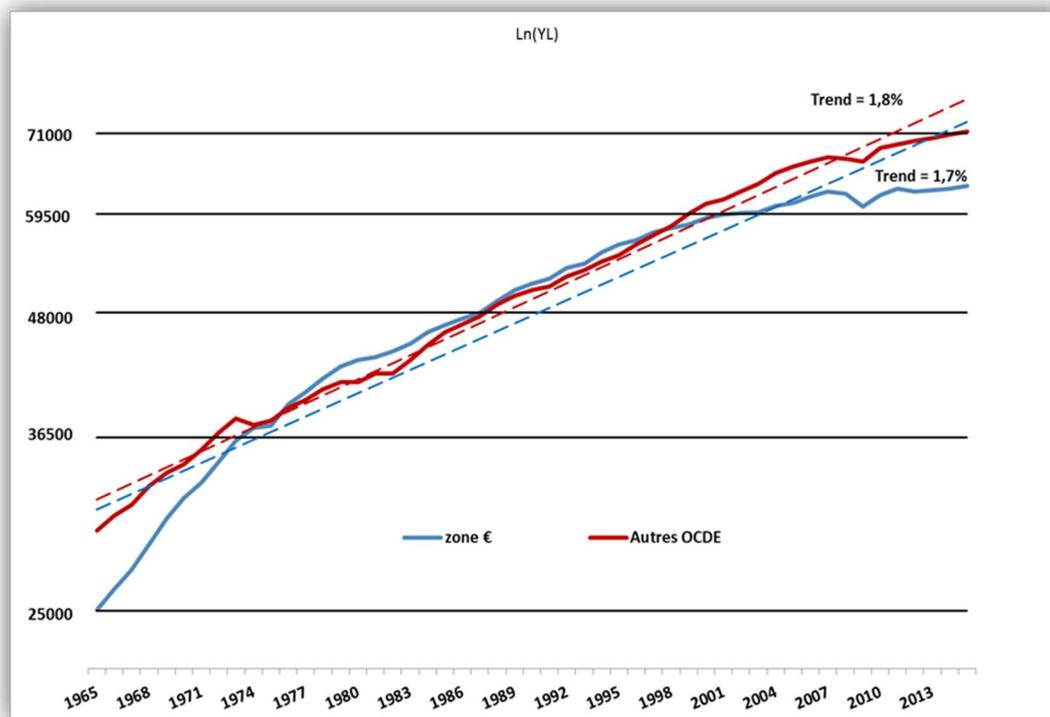


Source : calculs de l'auteur d'après données AMECO

### L'évolution de la productivité du travail

Sur l'ensemble de la période, le rythme de croissance est légèrement plus rapide pour les autres pays de l'OCDE (1.8% contre 1.7%). Cependant un processus de rattrapage entre les deux zones s'observe jusqu'à la fin des années 1990 grâce à une croissance plus soutenue pour la zone euro (2.3% contre 1.9%) alors que depuis cette période un processus de divergence réapparaît entre les deux groupes au profit des « autres OCDE » (1.1% contre 0.5%). Par ailleurs, on peut souligner que cet écart entre les niveaux de productivité du travail s'accroît depuis la crise de 2008.

**Graphique- 5 : Evolutions comparées des productivités du travail en euros PPA (prix constants 2010, ordonnées logarithmiques)**

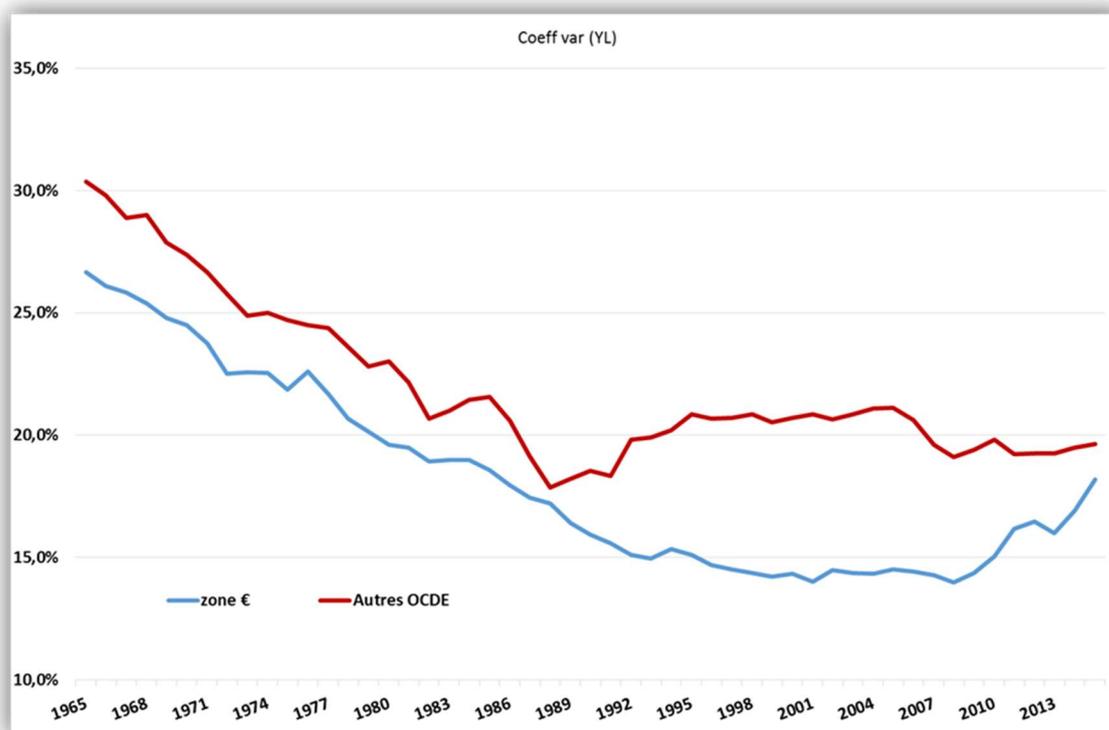


Source : calculs de l'auteur d'après données AMECO

### L'évolution des écarts de productivité du travail

L'analyse des coefficients de variation des niveaux de productivité du travail montre un mouvement de sigma-convergence bien plus long pour la zone euro que pour la zone « autres OCDE ». Si l'on note que cette convergence s'arrête pour les « autres OCDE » à partir de 1989 pour laisser place à un phénomène de divergence des niveaux de PIB par unité de travail, elle se poursuit de manière significative pour les pays de la zone euro jusqu'à la fin des années 1990. Une relative stabilité de ce coefficient s'observe ensuite jusqu'en 2008 pour remonter ensuite de manière très significative.

**Graphique- 6 : Evolutions comparées des coefficients de variation des productivités du travail (écart-type en % de la moyenne)**



Source : calculs de l'auteur d'après données AMECO

## 2.2 - Les résultats des estimations de la productivité globale des facteurs.

### 2.2.1 La spécification de la fonction de production

L'approche "variation des effets temporels" (TVE) a été mobilisée afin d'obtenir, pour chaque nation, sa variation d'efficacité à chaque période. L'addition de cette estimation au taux de progrès technique, détermine le taux de croissance de la productivité globale des facteurs (cf. équation 11). Finalement, l'équation (12) donne l'évolution du niveau de la productivité globale des facteurs pour chaque économie et permet de calculer les écarts relatifs entre elles. Cette approche a déjà été appliquée aux secteurs manufacturiers (Boussemart et al., 2011) et aux services financiers des pays de l'OCDE (Fecher et Pestiau, 1993).

Dans notre étude, nous avons choisi une spécification translog à rendements d'échelle constants pour la fonction de production<sup>38</sup> :

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{Y}{L}\right)_{n,t} &= \beta \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} + \frac{1}{2} \gamma \left[ \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} \right]^2 + \\ &\varphi \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} t + \lambda \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} t^2 + \theta_n^{(0)} + (f + \theta_n^{(1)})t + \theta_n^{(2)}t^2 \end{aligned} \quad (13)$$

L'élasticité de la production par rapport au capital s'écrit :

$$g_{K_{n,t}} = \left( \frac{\partial \ln(Y/L)}{\partial \ln(K/L)} \right)_{n,t} = \beta + \gamma \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} + \varphi t + \lambda t^2 \quad (14)$$

Si les différents paramètres de l'équation (14) sont communs aux différents pays et périodes, les niveaux de l'élasticité peuvent différer tant dans la dimension spatiale que temporelle puisque cette variable dépend de l'évolution des ratios K/L et de l'indice temporel.

Les gains de productivité s'obtiennent en différenciant le logarithme de la productivité du travail par rapport au temps :

$$\left( \frac{dPGF}{PGF} \right)_{n,t} = \frac{\partial \ln\left(\frac{Y}{L}\right)_{n,t}}{\partial t} = \varphi \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} + (f + \theta_n^{(1)}) + 2(\lambda \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} + \theta_n^{(2)})t \quad (15)$$

Et les niveaux des productivités globales des facteurs s'écrivent (en termes logarithmiques) :

$$\ln(PGF)_{n,t} = \theta_n^{(0)} + (f + \theta_n^{(1)})t + \theta_n^{(2)}t^2 + \varphi \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} t + \lambda \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} t^2 \quad (16)$$

La composante efficacité s'obtient par la différence entre les niveaux de productivité du pays évalué et du pays le plus productif appelé « Leader » :

---

<sup>38</sup> L'hypothèse des rendements d'échelle constants repose sur le fait que la valeur du PIB est distribuée totalement entre le coût du travail et l'excédent brut d'exploitation rémunérant le capital (la somme des deux parts de facteurs faisant donc 100% du PIB).

$$\begin{aligned} \ln(ET)_{n,t} &= \ln(PGF)_{n,t} - \ln(PGF)_{Leader,t} \\ \text{avec } \ln(PGF)_{Leader,t} &= \max_n \ln(PGF)_{n,t} \end{aligned} \quad (17)$$

Finalement on déduit le taux de progrès technique commun à tous les pays et qui n'est rien d'autre que la variation temporelle de la productivité globale des facteurs du pays Leader :

$$h_t = \frac{\partial \ln(PGF)_{Leader,t}}{\partial t} = \varphi \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{Leader,t} + (f + \theta_{Leader}^{(1)}) + 2(\lambda \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{Leader,t} + \theta_{Leader}^{(2)})t \quad (18)$$

Il est intéressant de souligner que, d'après la spécification retenue, cette composante progrès technique n'est pas simplement autonome mais dépend aussi de l'évolution de l'intensité capitaliste du pays leader.

### 2.2.2 La méthode d'estimation SURE et les résultats associés

En se souvenant qu'à l'équilibre, l'élasticité de la production par rapport au capital doit être égale à la part de la rémunération de ce facteur dans le PIB :

$$g_{K_{n,t}} = \left( \frac{w_k K}{pY} \right)_{n,t} = \beta + \gamma \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} + \varphi t + \lambda t^2 \quad (19)$$

Nous obtenons un système de deux équations que l'on peut estimer par la procédure "seemingly unrelated regression equations" (SURE) proposée par Arnold Zellner (1962). Bien que chacune des équations linéaires du système puisse être estimée séparément (seemingly unrelated), leur estimation simultanée apparaît plus appropriée du fait que les termes d'erreurs entre les équations sont supposés corrélés entre eux à une même date  $t$ . Le système à estimer est donc issu des équations (13) et (19) auxquelles on ajoute des termes d'erreurs :

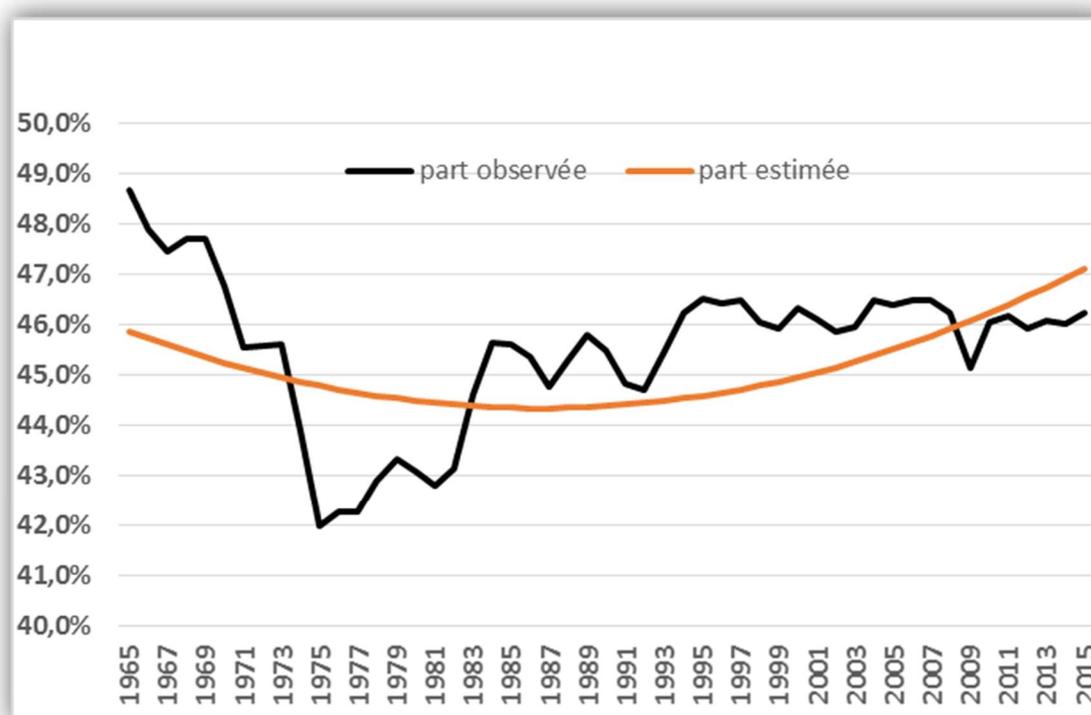
$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{Y}{L}\right)_{n,t} &= \beta \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} + \frac{1}{2} \gamma \left[ \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} \right]^2 + \varphi \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} t + \lambda \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} t^2 + \theta_n^{(0)} + (f + \theta_n^{(1)})t + \theta_n^{(2)} t^2 + v_{n,t} \\ \left( \frac{w_k K}{pY} \right)_{n,t} &= \beta + \gamma \ln\left(\frac{K}{L}\right)_{n,t} + \varphi t + \lambda t^2 + \varepsilon_{n,t} \end{aligned} \quad (20)$$

Les estimations des paramètres basées sur un panel de 22 pays et 51 années (1122 observations) figurent dans le tableau suivant :

**Tableau-1 : estimations des paramètres issues de la procédure SURE**

Paramètre	Estimateur	P-value	Paramètre	Estimateur	P-value	Paramètre	Estimateur	P-value
$\theta_1^{(0)}$	-2.3411	0.0000	$\theta_1^{(1)}$	0.0169	0.0000	$\theta_1^{(2)}$	-1.32E-04	0.0000
$\theta_2^{(0)}$	-2.3265	0.0000	$\theta_2^{(1)}$	0.0113	0.0000	$\theta_2^{(2)}$	-2.44E-05	0.4540
$\theta_3^{(0)}$	-2.4239	0.0000	$\theta_3^{(1)}$	0.0136	0.0000	$\theta_3^{(2)}$	-9.21E-05	0.0040
$\theta_4^{(0)}$	-2.7227	0.0000	$\theta_4^{(1)}$	0.0192	0.0000	$\theta_4^{(2)}$	4.02E-05	0.2100
$\theta_5^{(0)}$	-2.4803	0.0000	$\theta_5^{(1)}$	0.0088	0.0000	$\theta_5^{(2)}$	-7.18E-05	0.0250
$\theta_6^{(0)}$	-2.4261	0.0000	$\theta_6^{(1)}$	0.0198	0.0000	$\theta_6^{(2)}$	-2.75E-04	0.0000
$\theta_7^{(0)}$	-2.4000	0.0000	$\theta_7^{(1)}$	0.0158	0.0000	$\theta_7^{(2)}$	-1.32E-04	0.0000
$\theta_8^{(0)}$	-2.4151	0.0000	$\theta_8^{(1)}$	0.0229	0.0000	$\theta_8^{(2)}$	-3.08E-04	0.0000
$\theta_9^{(0)}$	-2.3079	0.0000	$\theta_9^{(1)}$	0.0086	0.0000	$\theta_9^{(2)}$	-1.12E-05	0.7200
$\theta_{10}^{(0)}$	-2.4637	0.0000	$\theta_{10}^{(1)}$	0.0144	0.0000	$\theta_{10}^{(2)}$	-1.10E-04	0.0010
$\theta_{11}^{(0)}$	-2.7715	0.0000	$\theta_{11}^{(1)}$	0.0258	0.0000	$\theta_{11}^{(2)}$	-2.81E-04	0.0000
$\theta_{12}^{(0)}$	-2.6901	0.0000	$\theta_{12}^{(1)}$	0.0193	0.0000	$\theta_{12}^{(2)}$	-7.23E-05	0.0260
$\theta_{12}^{(0)}$	-2.4084	0.0000	$\theta_{12}^{(1)}$	-0.0018	0.0000	$\theta_{12}^{(2)}$	2.15E-04	0.0000
$\theta_{14}^{(0)}$	-2.4855	0.0000	$\theta_{14}^{(1)}$	0.0121	0.0000	$\theta_{14}^{(2)}$	2.85E-06	0.9310
$\theta_{15}^{(0)}$	-2.4798	0.0000	$\theta_{15}^{(1)}$	0.0122	0.0000	$\theta_{15}^{(2)}$	-4.34E-05	0.1950
$\theta_{16}^{(0)}$	-2.3487	0.0000	$\theta_{16}^{(1)}$	0.0160	0.0000	$\theta_{16}^{(2)}$	-7.62E-05	0.0120
$\theta_{17}^{(0)}$	-2.0810	0.0000	$\theta_{17}^{(1)}$	-0.0048	0.0000	$\theta_{17}^{(2)}$	1.60E-04	0.0000
$\theta_{18}^{(0)}$	-2.1679	0.0000	$\theta_{18}^{(1)}$	0.0063	0.0000	$\theta_{18}^{(2)}$	6.96E-05	0.0260
$\theta_{19}^{(0)}$	-2.6139	0.0000	$\theta_{19}^{(1)}$	0.0197	0.0000	$\theta_{19}^{(2)}$	-1.93E-04	0.0000
$\theta_{20}^{(0)}$	-2.1769	0.0000	$\theta_{20}^{(1)}$	0.0064	0.0000	$\theta_{20}^{(2)}$	-1.17E-06	0.9710
$\theta_{21}^{(0)}$	-2.2686	0.0000	$\theta_{21}^{(1)}$	0.0109	0.0000	$\theta_{21}^{(2)}$	-5.61E-05	0.0820
$\theta_{22}^{(0)}$	-2.3769	0.0000	$\theta_{22}^{(1)}$	0.0023	0.0000	$\theta_{22}^{(2)}$	9.26E-05	0.0050
$\beta$	4.70E-01	0.0000						
$\gamma$	4.39E-03	0.5790						
$\varphi$	-1.59E-03	0.0030						
$\lambda$	3.50E-05	0.0000						

Pour apprécier la pertinence des caractéristiques de la technologie évaluée, il est possible de comparer les élasticités estimées aux parts observées du facteur capital. D'après le graphique 7, il apparaît clairement que la spécification translog semble plus appropriée qu'une simple fonction Cobb-Douglas dans le sens où l'élasticité estimée du capital épouse mieux l'évolution globale de la part de la rémunération de ce facteur qui n'est pas constante dans le temps (comme le stipule la spécification Cobb-Douglas).

**Graphique- 7 : Dynamique part du capital dans le PIB (moyenne des pays)**

### 2.2.3 Les gains de productivité estimés.

Les coefficients obtenus permettent de mesurer les gains de productivité globale (équation 16). Le tableau 2 reprend les taux annuels moyens sur l'ensemble de la période pour les 22 pays et les regroupements dans leurs deux zones respectives. La zone euro affiche un meilleur taux de croissance de la PGF (+0.98%) comparativement aux autres pays de l'OCDE (+0.85%). A l'intérieur de l'union monétaire, l'Irlande et la Finlande obtiennent les meilleures évolutions alors que la Grèce et l'Espagne affichent les moins bonnes performances. Pour les autres pays de l'OCDE, ce sont le Royaume-Uni et la Norvège qui ont connu la plus forte progression de la PGF tandis que la Suisse et le Canada sont en queue de peloton.

**Tableau-2 : Taux de croissance annuels moyen de la productivité globale des facteurs**

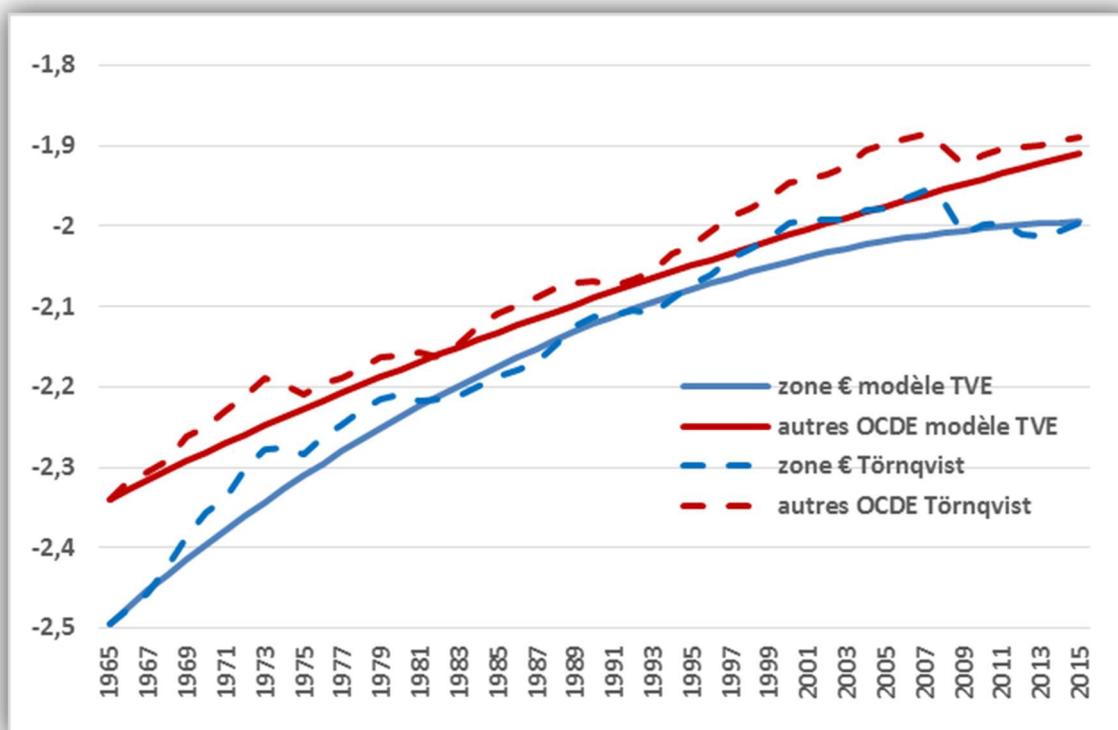
<b>Pays</b>	<b>Trend</b>	<b>Pays</b>	<b>Trend</b>
<b>Grèce</b>	0.48%	Suisse	0.29%
<b>Espagne</b>	0.57%	Canada	0.60%
<b>Italie</b>	0.71%	Nouvelle Zélande	0.65%
<b>Pays-Bas</b>	0.77%	Australie	0.77%
<b>Autriche</b>	0.85%	Suède	0.86%
<b>Allemagne</b>	0.86%	Etats-Unis	0.94%
<b>France</b>	0.88%	Japon	0.95%
<b>Belgique</b>	0.99%	Danemark	0.96%
<b>Portugal</b>	1.12%	Islande	0.96%
<b>Finlande</b>	1.52%	Norvège	1.18%
<b>Irlande</b>	2.08%	Royaume-Uni	1.19%
<b>zone €</b>	0.98%	autres OCDE	0.85%

Le graphique 8 montre que les évolutions respectives des PGF des deux zones sont assez bien appréhendées par le modèle TVE puisque les variations des indices Törnqvist calculés de manière comptable sont correctement retracées par notre spécification quadratique et les estimateurs obtenus<sup>39</sup>. Au total, les niveaux de PGF sont plus élevés pour la zone « autres OCDE » mais un mouvement de rattrapage s'observe nettement en faveur de la zone euro jusqu'à la fin des années 1990. Mais depuis cette date un décrochage semble s'opérer et ce de manière encore plus significative depuis 2007.

---

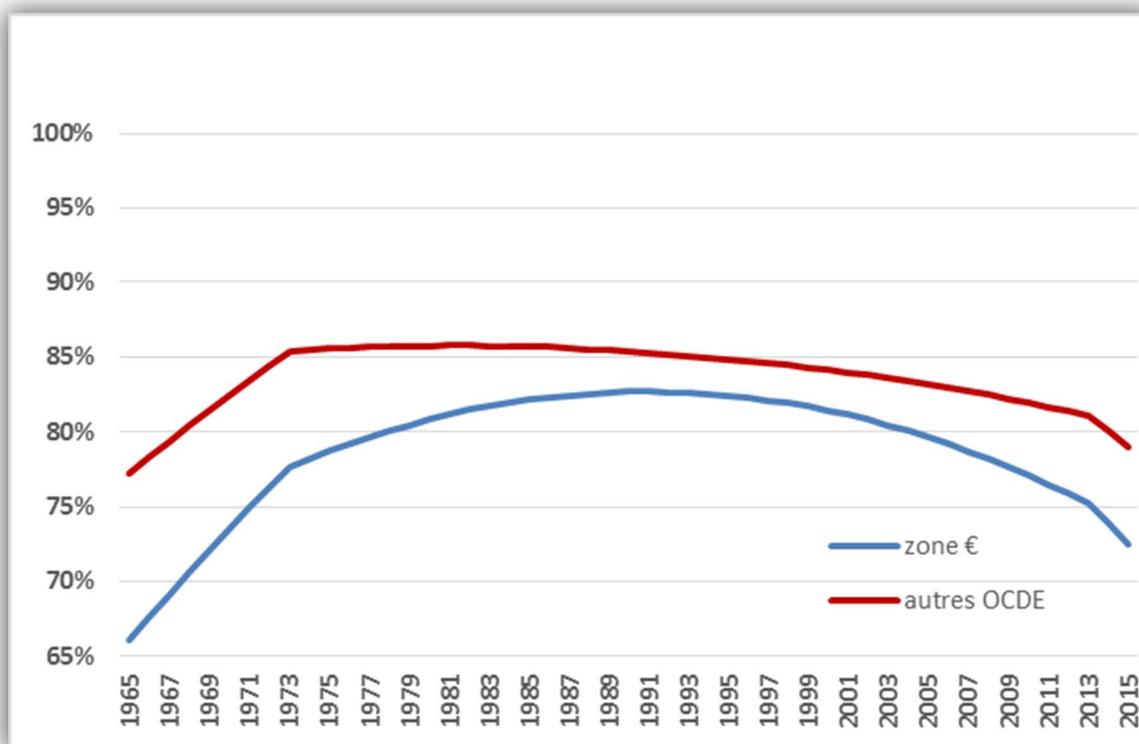
<sup>39</sup> Rappelons que les indices Törnqvist temporels ne permettent pas de calculer et donc de comparer des niveaux de PGF qui par contre sont effectivement estimés par la méthode TVE.

**Graphique- 8 : niveaux relatifs des PGF  
(ordonnées logarithmiques)**



Dans notre analyse le benchmark s'identifie par les pays les plus efficaces que sont la Suisse (1965-1973), les Etats-Unis (1974-2013) et l'Irlande (2014 -2015). Le progrès technique est donc déduit de l'évolution des gains de productivité de ces pays pendant leurs périodes respectives de leadership. Sur l'ensemble de la période, il évolue à un taux annuel de 0.87%.

Ces différences de niveaux des PGF s'expliquent par les écarts d'efficacité entre les deux zones. Sur l'ensemble de la période les niveaux d'efficacité sont d'environ de 79% pour la zone euro et de 84% pour les « autres OCDE ». Cet écart moyen d'environ 5% a varié dans le temps. En 1965, il dépassait les 11% pour ne plus atteindre que 2,5% dans le milieu des années 1990 et remonter à 6% en fin de période.

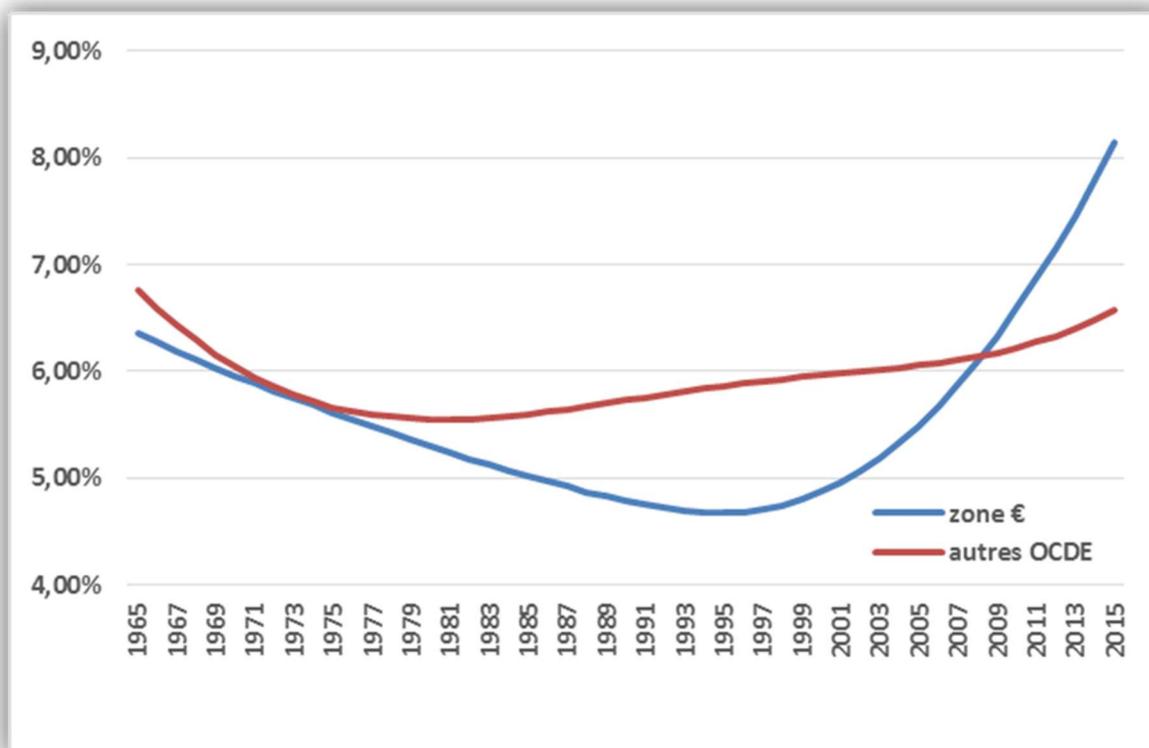
**Graphique-9 : niveaux des efficacités**

#### 2.2.4 L'analyse de la sigma-convergence de la PGF

L'analyse des écarts de productivité à l'intérieur de chaque groupe de pays montre un résultat intéressant. Le graphique 10 retrace les évolutions des coefficients de variation des niveaux estimés de la PGF au sein des deux zones. Alors que les dispersions des performances productives étaient relativement similaires jusqu'au milieu des années 1970, la zone euro a continué jusqu'à la fin des années 1990 à faire converger les niveaux de productivité de ses pays membres illustrant donc en grande partie les effets de l'intégration européenne et des contraintes du projet de la monnaie unique. Cependant, depuis le début des années 2000, un mouvement de divergence significative s'opère alors que la mise en place de l'Euro vient d'avoir lieu. Par rapport à celle du groupe « autres OCDE », la dispersion des niveaux de productivité devient même bien plus forte au sein de la zone euro à partir de 2008-2009. Il est à souligner que ce constat établi à partir de nos estimations de la PGF n'apparaissait pas

aussi clairement lors de l'étude de la sigma convergence relative à la simple productivité du travail (cf. graphique 6).

**Graphique- 10 : coefficients de variation des niveaux des PGF**



## Conclusion :

L'objectif de création de la monnaie unique de la zone euro est d'aboutir à la convergence des performances des Etats membres. Le test de convergence des économies est donc perçu comme un test de vérité et de durabilité de l'UME. Au terme du dixième anniversaire, cette convergence des productivités est passée aux cribles de nombreuses études (European Commission, 2008 ; Christodoulakis, 2009 ; Verdun, 2010 ; Sondermann, 2014). Autant avant la création de l'euro, l'Union Européenne était qualifiée de « convergence engine », autant à partir des années 2000, de nombreux travaux concluent à une période mitigée (Kutan et Yigit, 2009) ou de divergence (Estrada, et al. 2013 ; Hein et Truger, 2002 ; Wagner, 2013). Certains auteurs estiment que cette divergence cache une club-convergence, correspondante à diverses zones au sein de la même entité économique (Apergis et al. 2010 ; Christodoulakis, 2009). A partir des années 2008, l'Union monétaire est affectée par la crise des subprimes (Pasimeni, 2014 ; Jones, 2011 ; Gibson, et al. 2013) et depuis elle traverse une période de turbulence, au point que certains auteurs s'inquiètent de ses conditions de viabilité et même de sa durabilité (Halmai et Vásáry, 2012 ; Frenkel et al., 2011 ; European Union Committee, 2012). Comparée aux autres pays industrialisés, elle peine encore plus à rattraper les meilleurs (Selgin et al. 2015 ; Thimann, 2015 ; Marelli et Signorelli, 2014). Ce à quoi voudrait déjà répondre la stratégie d'innovation de Lisbonne (European Commission, 2010).

En ligne avec les interrogations et conclusions de la littérature évoquée précédemment, notre analyse des évolutions comparées des PGF des pays membres de la zone euro et des autres pays de l'OCDE a permis de dresser un constat intéressant. La date de la mise en place de la monnaie unique coïncide avec la période de la divergence des niveaux de PGF. Alors que l'on aurait dû s'attendre à un renforcement de la convergence des niveaux de performances des pays membres pour pallier les impossibilités d'ajustement par les politiques monétaires et les taux de change, on observe le phénomène contraire qui s'est fortement accentué depuis la crise de 2008. Une conséquence de ces écarts de PGF grandissant est que la convergence de niveaux de vie au sein des principales nations de la zone euro ne s'opère plus automatiquement par les mécanismes de rattrapage ou d'adoption technologique. Il semblerait qu'à l'heure actuelle, seules des politiques de transferts financiers entre les Etats membres (des plus riches en faveur des plus pauvres) pourraient permettre de réaliser cette

convergence des niveaux de vie. Si tel n'était pas le cas, un éclatement de cette zone serait inévitable pour retrouver des possibilités d'ajustements nominaux par les taux de change.

Nous devons aussi noter que notre analyse des PGF par l'approche des frontières de production stochastiques a permis de révéler ce résultat empirique important de manière plus évidente qu'une simple analyse de convergence des niveaux de productivité du travail.

### BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE III

- Afriat, S. (1972). Efficiency Estimation of Production Functions. *International Economic Review* (13), 568-598.
- Aigner, D., et Chu, S. (1968). On Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review* (58), 826-839.
- Aigner, D., Lovell, K., et Schmidt, P. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics* 6,, 21–37.
- Apergis, N., Panopoulou, E., et Tsoumas, C. (2010). Old Wine in a New Bottle: Growth Convergence Dynamics in the EU. *Atlantic Economic Journal*. 38, issue 2, 169–181.
- Barro, R. J. (1991). Economic Growth in a Cross Section of Countries. *Quarterly journal of Economy* 106, 407 - 43.
- Christodoulakis, N. (2009). Ten Years of EMU: Convergence, Diergence and new Policy Priorities. *National Institute Economic Review*, No 208, 86-99.
- Cornwell, C., Schmidt, P., et Sickles, R. C. (1990). Production Frontier with Cross Sectional and Time Series Variation in Efficiency Levels. *Journal of Econometrics*, (46) 185-200.
- Estrada, A., Gali, J., et Lopez-Salido. (2013). Patterns of Convergence and Divergence in the Euro Area. *IMF Economic Review vol.61*, 602-630.
- European-Commission. (2008). EMU@10 Successes and challenges after ten years of Economic and Monetary Union. *EUROPEAN ECONOMY 2|2008*.
- European-Commission. (2010). *Europe 2020. A Strategy for smart, sustainable and inclusive growth. 2.*. Brussels.
- European-Union-Committee. (2012). *The euro area crisis 25th Report of Session 2010–2012 HL Paper 260*. London: The Stationery Office Limited.
- Frenkel, M., Lis, E., et Rülke, J. (2011). Has the economic crisis of 2007-2009 changed the expectation formation process in the Euro area? *Economic Modelling* 28, 1808–1814.
- Gibson, H., Palivos, T., et Tavlás, G. (2013). The crisis in the euro area: an analytic overview. *Bank of Greece Special Conference Paper 28*.
- Grosskopf. (1993). Efficiency and Productivity. In H. Fried, K. Lovell, & S. Schmidt, *The Measurement of Productive Efficiency, Techniques and Applications* (pp. 160-194). Oxford University Press.
- Halmaj, P., et Vásáry, V. (2012). Convergence crisis: economic crisis and convergence in the European Union. *Int Econ Econ Policy* 9, 297–322.
- Hein, E., et Truger, A. (2006). European Monetary Union: nominal convergence, real divergence and slow growth? *Structural Change and Economic Dynamics*, 16, 7–33.
- Jones, A. (2011). The euro crisis. *Local Economy* 26(6–7), 594–618.

- 
- Kutan, A., et Yigit, T. (2009). European integration, productivity growth and real convergence: Evidence from the new member states. *Economic Systems* 33, 127–137.
- Marelli, E., et Signorelli, M. (2014). Convergence, crisis and the need for innovative policies in the Eurozone. *paper was presented at the 16th INFER Annual Conference (28-31 May, Pescara, Italy) and at the 13th EACES Biennial Conference (4-6 September, Budapest, Hungary).*
- Meeusen, W., et Van den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review* 18:2, 435-444.
- Pasimeni, P. (2014). An Optimum Currency Crisis. *The European Journal of Comparative Economics* Vol. 11, n. 2, 173-204.
- Schmidt, P., et Sickles, R. (1984). Production Frontiers and Panel Data. *Journal of Business and Economics Statistics*, 2(4) 367-374.
- Selgin, G., Beckworth, D., et Bahadir, B. (2015). The productivity gap: Monetary policy, the subprimeboom, and the post-2001 productivity surge. *Journal of Policy Modeling* 37, 189–207.
- Sondermann, D. (2014). Productivity in the euro area: any evidence of convergence? *Empir Econ* 47, 999–1027.
- Thimann, C. (2015). The Microeconomic Dimensions of the Eurozone Crisis and Why European Politics Cannot Solve Them. *Journal of Economic Perspectives—Volume 29, Number 3*, 141–164.
- Verdun, A. (2010). Ten years EMU: an assessment of ten critical claims. *Int. J. Economics and Business Research*, Vol. 2, Nos. 1/2, 144-163.
- Wagner, H. (2013). Convergence and Divergence in the European Monetary Union. *The Macrotheme Review* 2(4), 1-8.
- Zellner, A. (1962). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 57, No. 298, 348-368.

---

**CHAPITRE IV**

**ANALYSE DES PROCESSUS DE CONVERGENCE AVEC LES FONCTIONS  
DISTANCES DIRECTIONNELLES NON PARAMETRIQUES**

## **Introduction**

Depuis la fin des années quatre-vingt, de nombreuses études empiriques portant sur la comparaison internationale de la productivité globale des facteurs (PGF) ont révélé comment les différences dans la technologie peuvent contribuer à des écarts de niveaux de PGF. Puisque la PGF est une mesure empirique de la technologie, le concept de la PGF-convergence (Islam, 2001 ; Hulten, 2001 ; Khan, 2006) peut être utilisé pour examiner l'hypothèse de rattrapage technologique entre les pays et expliquer comment la convergence des revenus tient à la fois du taux de croissance de la PGF et de leurs niveaux initiaux.

Toutefois, la plupart des travaux utilisent des approches paramétriques pour modéliser la technologie en la contraignant à respecter une forme fonctionnelle prédéfinie du style Cobb-Douglas, CES, Translog, etc<sup>40</sup>. Cependant, ces approches paramétriques comportent fréquemment trois écueils. Premièrement, elles utilisent des variables de rattrapage technologique définissant a priori les USA comme pays leader (Abramovitz, 1986 ; Dowrick et Nguyen, 1989 ; Targetti et Foti, 1997). Mais si le leadership des USA était vrai à la sortie de la seconde guerre mondiale ; il l'est moins maintenant. Ainsi, certains auteurs lui adjoignent le Japon et même la Chine (Arcelus et Arocena, 2000 ; Färe, et al., 1994). Déjà en 1986, Abramovitz estimait que les USA étaient en passe d'être devancés par de nouveaux candidats au leadership dont l'Europe.

Deuxièmement, les approches paramétriques attribuent souvent les gains de productivité au seul progrès technique (Porcelli, 2008 ; Islam, 2001 ; Greene, 1997). Cependant à technologie donnée, les améliorations des pratiques productives en cours sont aussi source de gains de

---

<sup>40</sup> Coelli et al (1998), présentent un tableau récapitulatif des différentes formes de fonctions de production usuelles.

productivité. Ainsi, l'analyse du rattrapage technologique doit tenir compte aussi de cette composante de la productivité qu'est la variation de l'efficacité productive en ne présupposant pas que toutes les nations sont situées sur leur benchmark (la frontière de production).

Troisièmement, comme l'étude sur la convergence de la PGF des pays des zones « euro » et « autres OCDE » développée dans le chapitre précédent grâce à l'analyse économétrique du « *Time Varying Effect* », les approches paramétriques supposent généralement que les rendements à l'échelle de la technologie sont constants. Or cette hypothèse présuppose que tous les pays quelle que soit leur taille peuvent s'aligner sur le même niveau de productivité globale. Si tel n'est pas le cas, des écarts de productivité peuvent quand même être observés entre les pays et ce malgré un processus de rattrapage à la frontière déjà effectué. Ainsi, étudier le processus de rattrapage technologique en supposant implicitement une technologie à rendements d'échelle constants risque de biaiser l'analyse.

Dans ce chapitre, notre recherche utilise la méthode de programmation non-paramétrique pour étudier à la fois la convergence des ratios d'output-input et d'inputs et le rattrapage technologique entre 11 pays de la zone euro et 11 autres pays de l'OCDE, sur la période 1965-2015<sup>41</sup>. Comparée aux approches antérieures, notre investigation est originale sur deux points. Le premier consiste à relâcher l'hypothèse des rendements d'échelle constants pour la technologie de référence sous-jacente. Comme nous l'avons déjà signalé dans les lignes précédentes, des économies qui ont convergé vers leur frontière du techniquement possible en opérant un rattrapage technologique peuvent néanmoins avoir des niveaux de PGF différents entre elles. Comme nous allons le montrer dans ce chapitre, sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants, ces différences de PGF risquent d'être attribuées à des retards technologiques alors qu'ils sont dus à des effets de taille des économies difficilement modifiables même à long terme. Le deuxième point est de scinder des différences des efficacités productives des pays en deux composantes : l'effet de rattrapage technologique et

---

<sup>41</sup> cf. description de la base de données et la liste des pays dans la section 5 de ce chapitre et la section 2 du chapitre III

l'effet de convergence structurelle. Le test de rattrapage technologique repose sur la variation chronologique des distances qui séparent les pays de leur frontière de production. Ces mouvements préalablement corrigés du biais d'échelle lié à la taille des pays reflètent ou non un processus de diffusion technologique : en s'alignant progressivement sur les meilleures pratiques observées (benchmark), les économies individuelles améliorent leurs niveaux de PGF via une diminution de leurs inefficacités techniques ou de leurs distances à la frontière de production. Un second test mesure au cours du temps, les variations de l'efficacité productive au sein d'un groupe de pays occasionnées par les évolutions respectives de leurs mixes d'inputs (capital/travail) et d'output/input. Ces mouvements relatifs entre pays permettent de mettre en évidence les changements structurels dans les allocations de ressources, décrivant l'intensification ou l'élargissement de certains inputs et outputs qui résultent du transfert de technologie. Ainsi, par rapport au modèle théorique standard de Solow développé au chapitre 1, ces deux effets (structurel et technique) sont explicitement à relier aux rôles respectifs du *capital-deepening* et des écarts technologiques dans l'analyse de la convergence exposés tout au long du chapitre II.

Dans une première section, nous rappelons la littérature utilisant les fonctions distances non paramétriques pour l'analyse de la convergence de la composante efficacité productive de la PGF. La deuxième section développe notre modèle d'analyse d'activité pour mesurer précisément les deux effets (technique et structurel) susceptibles d'influencer le processus de convergence de l'efficacité productive entre les pays. La troisième section expose une stratégie d'estimation robuste des écarts des inefficacités (technique et structurelle) des pays par une méthode de sous-échantillonnage. Une brève section 4 présente un modèle de rattrapage conditionnel aux contextes économiques des pays pouvant être repérés par un ensemble de variables exogènes (taux d'ouverture, taux de change, déficit public, dette publique, taux d'intérêt, ...). Après une présentation de la base de données utilisées, la dernière section développe un modèle économétrique testant l'influence des critères nominaux et réels des entités économiques comparées (zone euro et autres pays OCDE) sur le processus de rattrapage technologique et de convergence structurelle.

## Section 1 - Revue de la littérature de l'approche non-paramétrique de la convergence de la PGF

### 1.1 - L'analyse des activités par la méthode DEA, une brève introduction

Rappelons qu'au cœur de l'approche non-paramétrique de la productivité se trouve le concept d'efficacité productive reliant la technologie, les inputs et les outputs. Une unité de production sera dite techniquement efficace, si elle produit le maximum d'output réalisable avec la technologie et pour un niveau d'input donné. Elle sera aussi efficace, si alternativement pour un niveau d'output donné, elle utilise un minimum d'input dans son processus de transformation. La technologie repose sur un ensemble des possibilités de production mobilisant notamment deux axiomes : la libre disposition des inputs ou des outputs et la convexité. Une fonction distance est ensuite définie sur cet ensemble et sa mesure est généralement conduite par une méthode d'estimation non paramétrique du type *Data Envelopment analysis* (DEA).

Cette méthode d'estimation DEA, initiée notamment par Charnes, Cooper et Rhodes (CCR) (1978), tant dans ses origines, son développement que ses travaux empiriques, est largement couverte par la littérature de l'analyse de la performance économique (voire, Coelli et al., 2005 ; Førsund et Sarafoglou, 2002 ; Cooper, 2000). Si CCR (1978) sont les premiers à utiliser l'expression DEA, ils s'inspirent explicitement des travaux de Farrell (1957) qui également exprime sa référence à Debreu (1951) et à Koopmanns (1951). Cette méthode d'analyse de la performance couvre tout type d'activité de production de biens et services, sans référence à une fonction de production préalablement définie. Comme nous venons de le mentionner, elle repose sur un ensemble d'axiomes dans lesquels la technologie de production enveloppe tous les plans de production réalisables au moyen des combinaisons d'inputs et d'outputs possibles. Parmi tous ces plans de production, la frontière regroupe l'ensemble des meilleures combinaisons d'inputs associées à leurs outputs. Celles-ci sont dites efficaces à la différence de toutes les autres situées en dessous de la frontière.

## 1.2 - L'analyse de la productivité macroéconomique par l'approche non paramétrique : une revue de la littérature

En utilisant une approche non paramétrique, Färe et al (1994) analysent la croissance de la productivité dans 17 pays de l'OCDE sur la période de 1979 à 1988. Leurs indices de productivité sont décomposés en deux éléments, à savoir, le changement technique et le changement de l'efficacité interprétés comme un effet de rattrapage. Ils s'affranchissent de l'hypothèse des rendements d'échelle constants de la technologie et distinguent dans l'effet de rattrapage deux termes : l'un représentant un changement de l'efficacité technique pure et l'autre, le changement de mesure de l'efficacité de l'échelle. Les auteurs constatent que la croissance de la productivité américaine est un peu plus rapide que la moyenne des autres pays, même si c'est plutôt le Japon qui affiche le meilleur taux de croissance.

Le mécanisme de rattrapage technologique a également été revu par Kumar et Russel (2002), Grosskopf et al. (2007) ou Margaritis et al. (2006) selon une méthodologie qui permet de contourner deux limites de l'approche paramétrique. Cette approche non-paramétrique ne repose ni sur l'hypothèse d'une forme fonctionnelle qui déterminerait la frontière de production, ni sur celle relative à la structure du marché. Elle n'impose pas non plus un choix d'un pays particulier comme leader ; faisant dépendre les différences d'inefficacités technique et allocative de la capacité des pays à utiliser leur technologie disponible.

Kumar et Russel (2002) testent l'hypothèse de rattrapage technologique entre 57 pays riches et pauvres, utilisant un indice de productivité du travail calculé suivant une méthode non paramétrique. La productivité du travail est décomposée en trois éléments : le changement technique, représentant un déplacement de la frontière de production, le rattrapage technologique, caractérisé les mouvements par rapport à la frontière de production ; et l'accumulation du capital assimilé à un mouvement le long de la frontière de production. Et pour analyser l'évolution de la répartition de la productivité du travail entre les pays, ils se concentrent sur les différences des niveaux de technologie, les changements technologiques au fil du temps et la part de convergence des revenus due à la diffusion technologique ou à la convergence des ratios capital/travail. Ils trouvent qu'il y a bien la preuve d'un rattrapage technologique puisque les pays s'approchent du benchmark mondial. Ils en concluent que le changement technique n'est donc pas neutre, de même que la croissance internationale et la

bipolarisation de la divergence des revenus entre riches et pauvres tiennent principalement au *capital deepening*.

Henderson et Russell (2005) utilisent une méthode similaire à celle de Kumar et Russell (2002) en mettant l'accent sur le capital humain et trouvent que l'importance que ces auteurs donnent au *capital deepening* résulte plus de l'accumulation du capital humain que du capital physique. Alors que Kumar et Russell (2002) couvraient la période 1965 -1990 ; Badunenko et al. (2007) l'étendent de 1992-2000. Avec la même décomposition tripartite de la productivité du travail. En revanche, à la différence de Kumar et Russell qui faisaient de l'accumulation du capital le moteur de la convergence des niveaux de vie entre les pays ; c'est au changement technique que Badunenko et al (2007) l'attribuent, puisqu'il porte la productivité des pays en transition vers celle des meilleurs pays innovants.

Christopoulos et León-Ledesma (2007) se servent également de l'approche DEA pour mesurer l'efficacité et examiner l'impact du capital humain et de l'ouverture sur la performance productive dans un échantillon de 83 économies nationales développées et moins développées. Leurs conclusions soutiennent l'idée que l'ouverture internationale augmente la performance d'un pays de manière significative, alors que le capital humain ne contribue pas à son efficacité. Néanmoins leur analyse repose toujours sur l'hypothèse restrictive des rendements d'échelle constants de la technologie.

L'objectif de cohésion de l'Union Européenne exige, selon Filippetti et Peyrache (2013) une convergence des productivités du travail entre les pays, surtout depuis que l'UME s'est engagée à faire de l'innovation l'une de ses priorités en vue de la croissance économique et de la convergence entre les pays membres (Foddi et Usai, 2013 ; Farole et al., 2011). Utilisant l'approche non paramétrique, les auteurs étudient 28 pays sur la période 1993-2007 en partant d'une conception particulière de l'écart technologique. Estimant que les différences de productivité entre deux pays ne peuvent se réduire à leur distance de la frontière et à la différence de leur niveau de leur ratio K/L comme le pensent Kumar et Russell, ils introduisent une variable représentant l'aptitude du pays à adopter une technologie nouvelle qui seule peut lui permettre de combler son écart technologique. Leur intuition est que la frontière de production peut être soit conditionnelle à la technologie propre au pays (il y aurait donc une frontière conditionnelle spécifique à chaque pays) soit inconditionnelle et donc commune à

toutes les nations. Plus grande est la capacité technologique du pays, plus élevée est sa frontière conditionnelle. L'écart entre les deux types de frontière représente une contrainte technologique, ou un espace d'opportunité technologique qui n'est pas automatiquement exploitable par le pays *follower*. Puisqu'il lui impose une réelle amélioration de son capital humain et de son niveau technique. Et c'est cet espace que Filippetti et Peyrache (2013) appellent l'écart technologique. Un pays peut donc atteindre sa frontière conditionnelle en faisant un meilleur usage de ses ressources sans pour autant se hisser au niveau de la frontière inconditionnelle ; mais il ne peut atteindre celle-ci sans atteindre la frontière conditionnelle. Dès lors, l'efficacité technique d'une économie doit donc tenir compte de l'écart technologique avec la frontière inconditionnelle, mais aussi de l'efficacité technique conditionnelle. Le premier écart se comble au moyen de l'investissement en capital humain ou en R&D et le second grâce au *learning-by-doing*. Divisant les pays de l'Union Européenne en deux groupes, les anciens plus industrialisés et les nouveaux peu industrialisés, Filippetti et Peyrache (2013) constatent que la productivité du travail dans les nouveaux pays est davantage portée par l'accumulation du capital. Cependant persistent des différentiels de productivité dus aux écarts technologiques entre anciens et nouveaux pays européens.

Dans une perspective dynamique, l'approche non-paramétrique permet d'examiner comment le processus de convergence des productivités peut mieux expliquer la convergence des niveaux de vie comme un phénomène dépendant de l'effet cumulé de l'efficacité technique et de l'accumulation du capital au mesure que la frontière de production se déplace au cours du temps. De nombreuses auteurs se sont investis dans l'analyse de la PGF-convergence selon l'approche DEA (Margaritis et al. 2007 ; Salinas-Jiménez et al., 2005 ; Krüger, 2003). Tout comme la productivité du travail était décomposée dans les précédents travaux, la PGF, calculée selon l'indice Malmquist, est décomposée en deux éléments : changement technologique et changement d'efficacité technique. Cependant de nombreuses autres décompositions existent dans la littérature. Par exemple Salinas-Juménez et al (2005) à l'instar d'autres études de convergence entre les pays (Maudos et al., 2008 ; Krüger et Kumar, 2004(a,b) ; Jerzmanowski, 2007 ; Desli, 2003), trouvent une PGF comportant du changement technique, du progrès technique et de l'accumulation de capital, dans leur étude de 15 pays de l'UE sur la période 1980-1997. C'est à l'accumulation de capital humain qu'ils attribuent le mouvement de convergence des PGF des pays les moins industrialisés vers les

anciens pays industrialisés. Färe, Grosskopf et Margaristi (2007) la décomposent en : changement technologique net, changement technique d'input biaisé, changement d'efficacité, variation du capital humain, accumulation de capital. Leur étude des pays de l'OCDE entre 1965 et 2002, conclut à l'inexistence d'un effet du capital humain dans la décomposition de la PGF et à l'existence d'une convergence entre les pays sans qu'ils ne puissent avoir la preuve de l'existence d'un seul club de convergence. Comme de nombreuses études sur les études de convergence entre régions (Domazlicky et Weber, 1997; Ezcurra et Rapun, 2008), Leonida et al (2004) commencent par décomposer la PGF en progrès technologique et variation d'efficacité technique pour ensuite tester l'hypothèse de rattrapage technologique entre les régions italiennes et trouvent que l'innovation est le facteur explicatif de la décélération de la divergence entre les régions; la vitesse de l'innovation est forte dans les régions leaders et l'adoption également soutenue dans les régions followers.

La décomposition de la PGF permet de savoir quelle composante a un effet négatif ou positif sur la convergence des productivités. En examinant la convergence de la productivité des pays de l'Union Européenne Färe, Grosskopf et Margaristis (2006) découvrent que le changement technique est source de divergence et que l'effet de l'accumulation du capital est bien plus important dans le phénomène de convergence. La convergence des pays de l'UE se fait selon des clubs, sans que l'appartenance ou non à l'UME ne soit un critère discriminant entre les pays. Ainsi le Danemark et Belgique seraient dans le même club de convergence, et qu'en ajoutant ou en soustrayant la Norvège dans l'échantillon cela n'aurait aucune incidence sur la constitution des clubs. Cette conclusion soulève la question de l'impact de l'appartenance à la zone euro sur la convergence des PGF et par conséquent interroge sur l'influence des critères de Maastricht sur l'évolution des composantes de la productivité des pays de la zone euro par rapport à celle de l'ensemble de l'OCDE.

## **Section 2 - Définitions et mesures des concepts**

Avant de développer notre modèle d'analyse des processus de rattrapage technologique et de convergence structurelle, il convient de bien définir ces concepts et de montrer comment

les mesurer précisément par le biais des fonctions distances directionnelles non paramétriques.

## 2.1 - Le processus de rattrapage technologique et la convergence de la PGF

Traditionnellement, la littérature empirique portant sur l'adoption de la technologie compare les niveaux de PGF entre les pays et teste la relation inverse entre les taux de croissance de la PGF et les niveaux initiaux et conclut à la convergence des niveaux de productivité dès lors que les pays ayant les plus bas niveaux de PGF connaissent les taux de croissance les plus élevés. Il en résulte que les pays followers rattrapent les pays leaders.

Nous pouvons considérer que plus un pays est éloigné de sa frontière de production au cours d'une année  $t_0$ , plus il a un fort potentiel d'augmentation de sa PGF via la possibilité de se rapprocher de son benchmark en  $t_1$ . Ainsi, le processus de *catching-up* technique peut se caractériser par la tendance des pays à faible efficacité à diminuer leurs distances à la frontière de production. A ce sujet, deux cas de figures peuvent être observés : premièrement, les économies inefficaces se hissent à hauteur des pays leaders pendant que ceux-ci se maintiennent à leur position sur le benchmark. Dans ce cas, on peut conclure qu'il y a un processus de rattrapage vers la frontière technique. Deuxièmement, un processus de rattrapage plus subtil peut se produire quand certains pays initialement efficaces diminuent leur niveau d'efficacité en décrochant de la frontière pendant que des pays *followers* améliorent leur score d'efficacité, tout en restant à un niveau de performance inférieur à celui des économies qui restent leaders. Ceci signifie qu'il y a aussi un processus de rattrapage technologique entre une majorité de nations mais qui les situent en dessous du benchmark.

Dans les deux cas, une relation négative entre le niveau initial de l'inefficacité technique et les variations entre les deux périodes  $t_1$  et  $t_0$  devrait être perceptible.

$$\Delta IT_a = IT_{a,t_1} - IT_{a,t_0}$$

$$\frac{\Delta IT_a}{IT_{a,t_0}} = \beta \ln(IT_{a,t_0}) + \alpha + \mu_a \quad (1)$$

Avec,

$IT_{a,t_0}$  = l'inefficacité technique du pays  $a$  à la période initiale  $t_0$

$\frac{\Delta IT_a}{IT_{a,t_0}}$  = le taux de croissance de l'inefficacité technique du pays  $a$  entre  $t_0$  et  $t_1$

$\mu_a$  = un terme d'erreur aléatoire

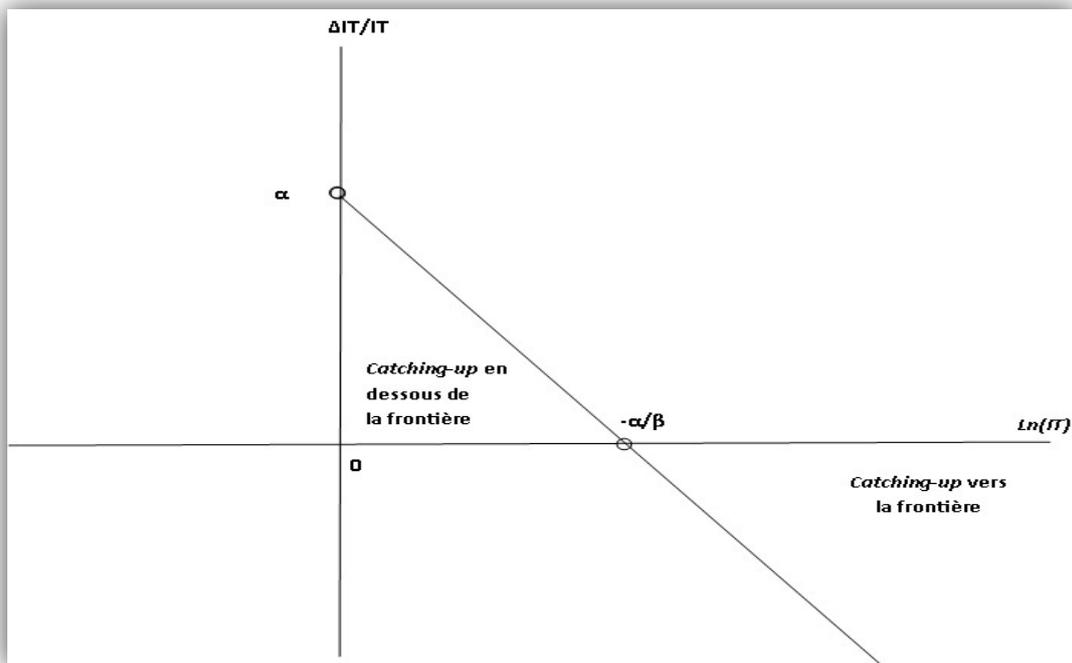
$\beta < 0$ , le paramètre de catching-up

$\alpha$ , la constante du modèle

Un processus de rattrapage vers la frontière technique se vérifie par le taux de croissance négatif des inefficacités des pays  $\left(\frac{\Delta IT}{IT} < 0\right)$ . Ce qui implique, selon l'équation (1),

$\ln(IT_{t_0}) > -\frac{\alpha}{\beta}$  En revanche, pour  $\ln(IT_{t_0}) \leq -\frac{\alpha}{\beta}$  le pays concerné converge vers une position inférieure à la frontière de production. La figure 1 illustre ces deux cas :

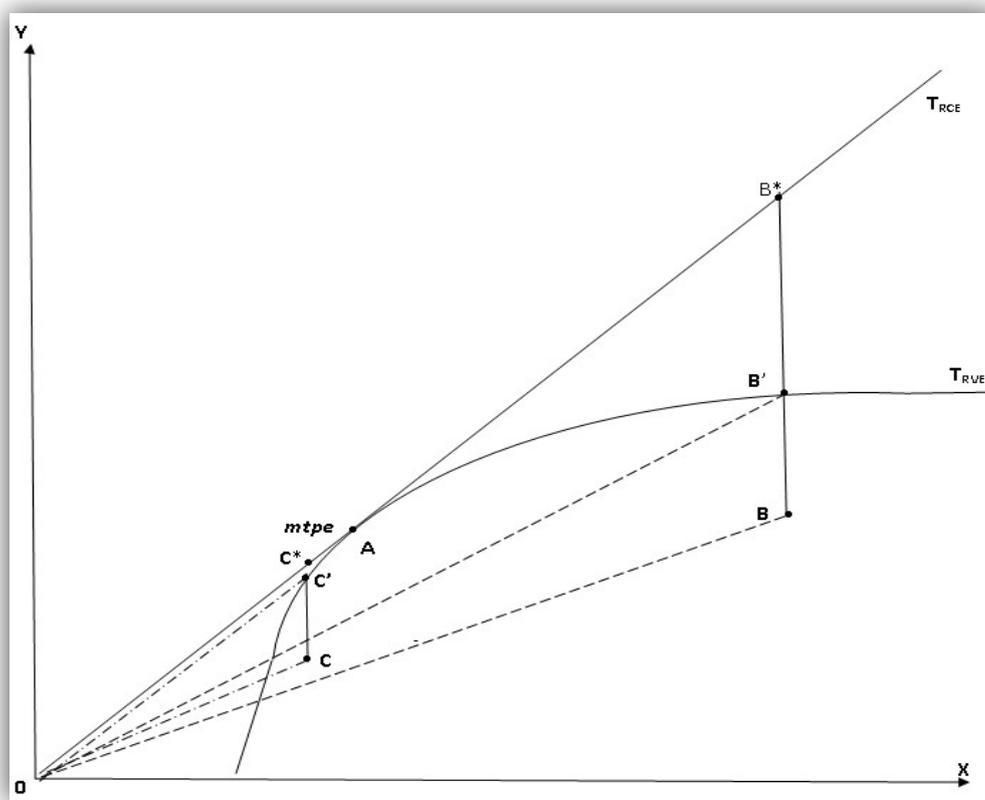
**Figure 1 : Catching-up en dessous ou vers la frontière**



Toutefois, en assimilant les écarts de PGF à des niveaux d'inefficacité, cette approche repose sur l'hypothèse implicite des rendements d'échelle constants (CRS), puisque la PGF optimale, utilisée comme benchmark de tous les pays, est identique à la productivité maximale observée. Cependant, si l'hypothèse CRS ne tient pas dans le cas où la technologie de production révèle des rendements d'échelle croissants et/ou décroissants (rendements

d'échelle variables, VRS), le niveau maximal de la PGF réalisable ne coïncide pas nécessairement avec la PGF maximale observée et doit alors être mesurée précisément au niveau de la taille de chaque pays. En faisant l'hypothèse que la technologie est CRS alors qu'elle est VRS, ceci peut induire des biais dans l'analyse du catching-up technologique. En effet, une divergence des niveaux de PGF peut être constatée alors que les pays, ayant atteint leur frontière de production, amorcent un processus de rattrapage technologique, comme l'illustre la figure 2 :

**Figure 2 : Ecart de PGF dus aux effets techniques et d'échelle**



Dans la figure 2, trois pays A, B et C produisent un output (Y) au moyen d'un input (X) selon une technologie à rendement d'échelle variable. Les niveaux observés de la PGF des trois pays sont faciles à calculer par leurs ratios respectifs  $Y/X$ . La productivité maximale est réalisée par le pays A qui caractérise la meilleure taille de production à l'échelle (*mtp*). En considérant la PGF de cette *mtp* comme le niveau à atteindre par les deux autres pays B et C, on fait implicitement l'hypothèse d'une technologie CRS. Dans ce cas, si les pays B et C se hissaient aux niveaux  $B^*$  et  $C^*$ , il y aurait effectivement une convergence des PGF puisque tous les pays, malgré leur différence de taille, réaliseraient le même niveau de PGF maximale. Pourtant avec

une hypothèse moins restrictive d'une technologie VRS qui signifie que les tailles respectives des économies sont données et peu modifiables à court et moyen terme, les pays sont capables d'atteindre au mieux leur benchmark respectif  $B'$  et  $C'$ . Notons que dans ce scénario, l'écart entre les niveaux de PGF optimaux de  $B'$  et  $C'$  s'est agrandi par rapport à celui constaté entre  $B$  et  $C$ . Ainsi, bien que  $B'$  et  $C'$  soient situés tous les deux sur la frontière de production VRS, on pourrait à tort conclure qu'il n'y ait pas eu de rattrapage du fait de la divergence de niveaux de PGF entre ces deux pays. Ainsi, au cours du temps, c'est bien la réduction des distances entre les pays et leurs propres benchmarks sur la frontière de production VRS qui dénote un processus de catching-up technique vers les niveaux maximaux de productivité réalisables. On peut donc se rendre compte que les tests traditionnels de beta ou de sigma convergence des niveaux de PGF retenant l'hypothèse implicite de rendements d'échelle constants ne sont pas capables de mettre en évidence cet effet d'adoption technologique. Dans le point suivant, nous introduisons la fonction distance directionnelle pour mesurer de manière formelle la distance qui sépare tout plan de production à la frontière de production VRS.

## 2.2 - La mesure de l'inefficacité technique

Soit  $\mathbf{x}_t \in R_+^I$ , le vecteur des inputs et  $\mathbf{y}_t \in R_+^O$  le vecteur des outputs d'un pays observé à l'instant  $t$ . Puisque nous comparons, au cours de la même année  $t$ , des économies ayant des niveaux de développement similaires (les pays de l'OCDE), les pays sont donc supposés partager la même technologie représentée par l'ensemble de production  $T_t$ ; tel que :

$$T_t = \{(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) : \mathbf{x}_t \text{ peut produire } \mathbf{y}_t\} \quad (2)$$

Les écarts entre les plans de production et la frontière de la technologie sont mesurés par la fonction distance directionnelle suivante :  $D_t : (R_+^I \times R_+^O) \times R_+^I \times R_+^O \rightarrow R_+^O$  définie par :

$$\tilde{D}_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t; \mathbf{g}_x, \mathbf{g}_y) = \sup_{\theta_t} \{\theta_t \in \mathfrak{R}_+ : (\mathbf{x}_t - \theta_t \mathbf{g}_x, \mathbf{y}_t + \theta_t \mathbf{g}_y) \in T_t\} \quad (3)$$

Où  $(\mathbf{g}_x, \mathbf{g}_y)$  sont deux vecteurs fixant la direction dans laquelle  $\tilde{D}_t(\cdot)$  est définie. Les propriétés des fonctions distance directionnelles sont définies dans Chambers et al. (1996).

L'ensemble de production  $T_t$  peut être caractérisé par la fonction distance directionnelle puisque  $(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) \in T_t \Leftrightarrow \vec{D}_{T_t}(\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t; \mathbf{g}_x, \mathbf{g}_y) \geq 0$ .

En partant de la littérature non-paramétrique sur l'analyse de l'activité, on peut donner une définition opérationnelle de  $T_t$  dans l'équation (2), étant donné un ensemble de DMUs (*Decision Making Units*)<sup>42</sup> observés et une liste d'axiomes. Ainsi, les deux principales hypothèses qui structurent  $T_t$  à des fins d'estimation sont la libre disponibilité des inputs et des outputs et la convexité de l'ensemble de production. Sous l'hypothèse des rendements variables à l'échelle, on définit  $T_{t,VRS}$  tel que :

$$T_{t,VRS} = \left\{ (\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) : \mathbf{x}_t \in R_+^I, \mathbf{y}_t \in R_+^O, \sum_{n=1}^N z_n y_{n,t}^o \geq y_t^o, o = 1, \dots, O, \right. \\ \left. \sum_{n=1}^N z_n x_{n,t}^i \leq x_t^i, i = 1, \dots, I, \sum_{n=1}^N z_n = 1, z_n \geq 0, n = 1, \dots, N \right\} \quad (4)$$

Le plan de production agrégé regroupant l'ensemble des  $N$  pays détermine la direction de la translation ; i.e.  $(\mathbf{g}_x, \mathbf{g}_y) = \left( \mathbf{0}, \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right)$ . Il en résulte que pour tout pays donné, un score non radial d'inefficacité technique est calculé comme le ratio entre l'augmentation des quantités d'outputs nécessaires pour atteindre le benchmark et l'output agrégé de l'ensemble des pays observés (Dervaux et al, 2004). Ainsi pour tout pays "a" évalué, son score non-radial d'inefficacité technique à la période  $t$   $ITNR_{a,t} = \theta_{a,t}$  est défini par la fonction distance

$\vec{D}_{T,VRS} \left( \mathbf{x}_{a,t}; \mathbf{y}_{a,t}; \mathbf{0}, \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right)$  et peut être estimé par le programme linéaire (PL) suivant :

---

<sup>42</sup> Ici les DMUs sont les pays de l'OCDE

$$\begin{aligned}
 \bar{D}_{T,IRS} \left( \mathbf{x}_{a,t}; \mathbf{y}_{a,t}; \mathbf{0}, \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) &= \max_{z, \theta_{a,t}} \theta_{a,t} \\
 \text{s.t. } \sum_{n=1}^N z_n y_{n,t}^o &\geq y_{a,t}^o + \theta_{a,t} \sum_{n=1}^N y_{n,t}^o \quad \forall o = 1, \dots, O \\
 \sum_{n=1}^N z_n x_{a,t}^i &\leq x_{a,t}^i \quad \forall i = 1, \dots, I \\
 \sum_{n=1}^N z_n &= 1 \\
 z_n &\geq 0 \quad \forall n = 1, \dots, N
 \end{aligned} \tag{PL1}$$

On en déduit que  $ITNR_{a,t} = \theta_{a,t}$  dépend de la taille relative de l'économie évaluée. Comparativement aux petits pays, les grands pays obtiendront des scores d'inefficacité plus élevés en raison de leur plus grand niveau d'output et contribueront d'autant plus significativement à l'inefficacité de l'ensemble du groupe. Dans le cas d'un seul output retenu dans la technologie, l'effet taille peut être compensé en déduisant l'indice d'inefficacité radiale du score d'inefficacité non radiale grâce à la formule suivante :

$$IT_{a,t} = 1 + ITNR_{a,t} \left( \frac{\sum_{n=1}^N y_{n,t}}{y_{a,t}} \right) \tag{5}$$

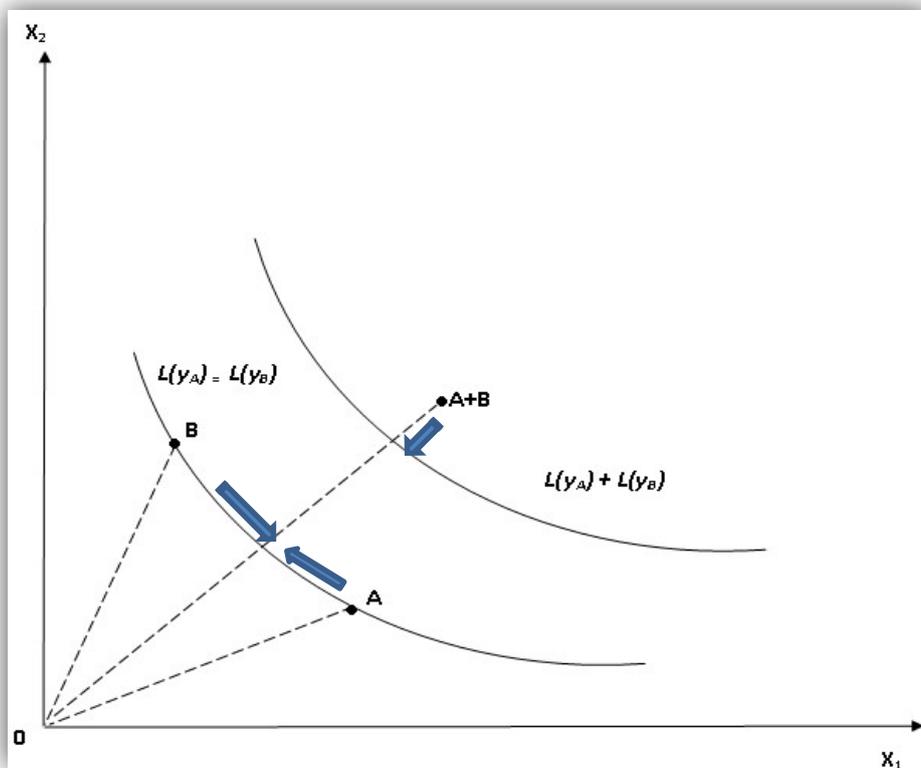
### 2.3 - Définition du processus de convergence structurelle

Dans le cas d'une technologie multi outputs-inputs, l'inefficacité structurelle met en lumière une subtile source d'inefficacité du plan de production agrégé dont l'origine tient à l'hétérogénéité des dotations en inputs et outputs entre les pays. Ainsi que le montre la figure 3.A dans l'espace des inputs  $(x^1, x^2)$ , deux pays techniquement efficaces ( $A$  et  $B$ ) produisant des niveaux d'output identiques  $y_A = y_B$ , avec deux mixes d'inputs différents  $\frac{x_A^2}{x_A^1} < \frac{x_B^2}{x_B^1}$

génèrent de l'inefficacité au niveau agrégé  $y_A + y_B$ . Le processus de convergence nécessite que les pays  $A$  et  $B$  harmonisent leur mixe d'inputs, ce qui conduirait au rapprochement progressif à la frontière agrégée de leur niveau agrégé, ainsi que le montre les flèches en bleu de la figure 3. Les figures 3.B et 3.C illustrent des effets similaires respectivement dans les espaces des outputs et des inputs-outputs. En effet, ces inefficacités structurelles sont en lien

direct avec les différences d'allocations de ressources entre les deux pays malgré qu'ils soient individuellement techniquement efficaces.

**Figure 3.A : inefficacité structurelle dans l'espace des inputs**



**Figure 3.B : Inefficacité structurelle dans l'espace des outputs**

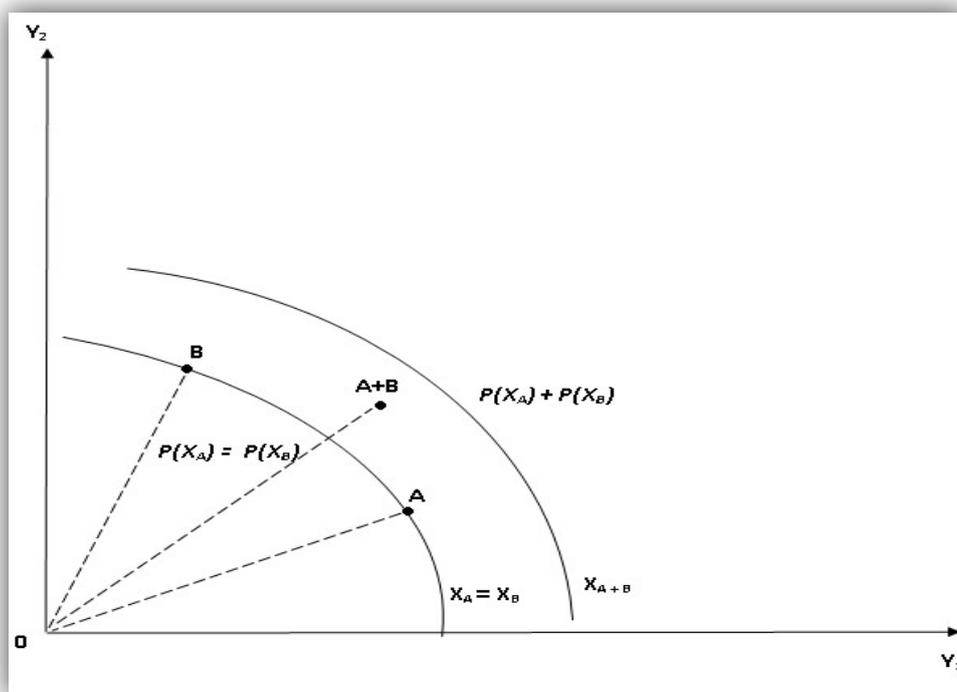
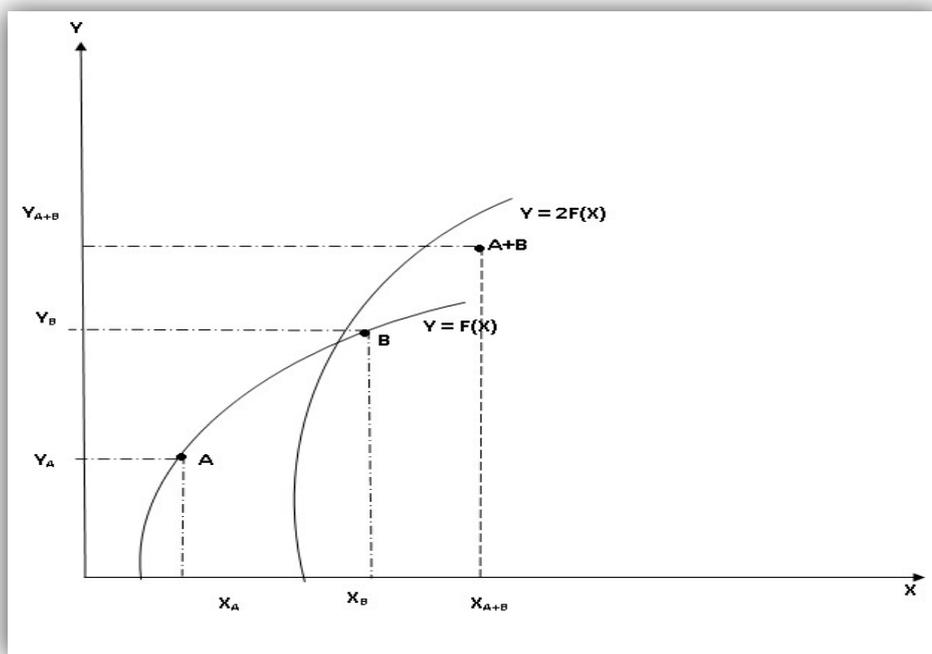


Figure 3.C : Inefficacité structurelle dans l'espace input/output



En fait, dans un marché de concurrence parfaite et en économie ouverte, une même structure de prix relatifs input-output devrait conduire les pays à choisir des mixes input-outputs identiques. En conséquence, les inefficacités structurelles mesurent des écarts entre les allocations de ressources observées et celles qui devraient correspondre à la structure des prix du plan de production agrégé<sup>43</sup>. De sorte que leur baisse au cours du temps reflète un processus de convergence structurelle c'est-à-dire vers des mixes d'inputs et/ou d'outputs semblables. Et puisque les pays homogénéisent progressivement leurs dotations d'input-output, cette convergence structurelle exerce un impact positif sur la productivité agrégée du groupe. Ainsi pour observer une convergence structurelle au sein d'un groupe d'économies, une condition nécessaire et suffisante est que le taux de croissance de l'inefficacité structurelle mesurée au niveau agrégé de l'ensemble des pays :

$$IS^G \text{ soit négatif, soit } \left( \frac{\Delta IS^G}{IS^G_{t_0}} < 0 \right)$$

<sup>43</sup> Ces écarts d'allocation (mis-allocations) s'inspirent du coefficient d'utilisation de ressource de Debreu (1951)

Par ailleurs, cette inefficacité structurelle du groupe peut se décomposer en une somme des contributions respectives des pays membres :

$$IS^G = \sum_{n=1}^N IS_n$$

Dès lors, pour un pays évalué  $a$ , si les mixes input-output convergent dans le temps vers ceux du plan de production agrégé, alors il existe une relation négative entre le niveau initial de l'inefficacité structurelle et ses variations au cours des périodes  $t_1$  et  $t_0$  :

$$\begin{aligned} \Delta IS_a &= IS_{a,t_1} - IS_{a,t_0} \\ \frac{\Delta IS_a}{IS_{a,t_0}} &= \varphi \text{Ln}(IS_{a,t_0}) + \lambda + \mu_a \quad (6) \end{aligned}$$

Tels que :  $IS_{a,t_1}$  est l'inefficacité structurelle du pays  $a$  à l'instant  $t$  ;  $\mu_a$ , le terme aléatoire,  $\varphi$

$< 0$  représente le paramètre de convergence et doit vérifier la relation :  $\text{Ln}(IS_{a,t_0}) > -\frac{\lambda}{\varphi}$

## 2.4 - La mesure des inefficacités structurelles (IS)

Tout d'abord, c'est au niveau du groupe que se mesure l'efficacité structurelle. Pour un groupe entier (G) composé de N pays ( $n=1, \dots, N$ ), la technologie du groupe notée  $T_t^G$  se définit simplement comme la somme des technologies individuelles des pays à l'instant  $t$  :

$$T_t^G = \sum_{n=1}^N T_t^n \quad (7)$$

En effet, sous l'hypothèse de convexité des technologies individuelles, Li (1995) a démontré que la technologie agrégée VRS est égale à N fois la technologie individuelle VRS :

$$T_{t,VRS}^G = \sum_{n=1}^N T_{t,VRS}^n = N \times T_{t,VRS} \quad (8)$$

Par ce biais, nous pouvons définir la fonction distance directionnelle en fonction de la technologie agrégée REV, telle que :

$$\vec{D}_{T_t, JRS}^G \left( \sum_{n=1}^N \mathbf{x}_{n,t}, \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t}; \mathbf{O}; \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) \quad (9)$$

Le programme linéaire (PL2) évalue l'inefficacité technique du plan de production agrégée, appelé ici « inefficacité globale » (*overall inefficiency*)  $IG_t^G = \theta_t^G$  :

$$\begin{aligned} \vec{D}_{T_t, JRS}^G \left( \sum_{n=1}^N \mathbf{x}_{n,t}; \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t}; \mathbf{O}; \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) &= \max_{z, \theta_t^G} \theta_t^G \\ \text{s.t. } N \sum_{n=1}^N z_n y_{n,t}^o &\geq (1 + \theta_t^G) \sum_{n=1}^N y_{n,t}^o \quad \forall o = 1, \dots, O \\ N \sum_{n=1}^N z_n x_{n,t}^i &\leq \sum_{n=1}^N x_{n,t}^i \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (\text{PL2}) \\ N \sum_{n=1}^N z_n &= N \Leftrightarrow \sum_{n=1}^N z_n = 1 \\ z_n &\geq 0 \quad \forall n = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Enfin, l'inefficacité structurelle de l'ensemble du groupe ( $G$ ) est l'écart entre l'inefficacité globale évaluée au niveau agrégé et la somme des inefficacités techniques individuelles :

$$\begin{aligned} IS_t^G &= IG_t^G - \sum_{n=1}^N ITNR_{n,t} \\ &\Leftrightarrow \quad (10) \\ IS_t^G &= \vec{D}_{T_t, JRS}^G \left( \sum_{n=1}^N \mathbf{x}_{n,t}, \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t}; \mathbf{O}; \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) - \sum_{n=1}^N \vec{D}_{T_t, JRS} \left( \mathbf{x}_{n,t}, \mathbf{y}_{n,t}; \mathbf{O}; \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) \end{aligned}$$

On peut remarquer que l'efficacité technique est propre au pays (*country-specific*) tandis que l'efficacité structurelle est calculée pour tout le groupe. Toutefois, l'inefficacité globale peut se répartir entre les pays pris individuellement au moyen des prix implicites (*shadow prices*) dérivés de (LP2) (Briec et al, 2003) et par déduction il est possible de calculer la contribution de chaque pays à l'inefficacité structurelle du groupe.

A partir de ces concepts d'inefficacité et de leurs mesures opérationnelles, nous sommes maintenant à même d'en élucider les implications concernant le catching-up technique et le processus de convergence structurelle entre les pays. Premièrement, en faisant tourner le (LP1) pour tous les plans de production observés, "a", appartenant au groupe de pays  $N$ , à l'instant  $t$ , on estime les niveaux contemporains des inefficacités techniques non radiales

individuelles, soit :  $ITNR_{a,t} = \theta_{a,t}$ . Deuxièmement, en faisant tourner le (LP2) pour le plan de production agrégé, à l'instant  $t$ , on mesure l'inefficacité technique contemporaine de l'ensemble du groupe de pays, soit  $IG_t^G = \theta_t^G$ , également appelée inefficacité globale. Troisièmement, cette inefficacité globale se répartit entre  $N$  composantes individuelles  $IG_t^G = \sum_{n=1}^N INRG_{n,t}$  au moyen des prix implicites. Ces  $N$  composantes, dites « non radiales » dépendant elles aussi des tailles des pays, sont transformées en indices d'inefficacité radiale comme pour les indices d'inefficacité technique (cf. équation 5). L'inefficacité structurelle de l'ensemble du groupe est déduite par la différence entre l'inefficacité globale et la somme des inefficacités non radiales nationales. Finalement, les indices d'inefficacité structurelle spécifiques aux pays sont calculés par les ratios des inefficacités globales et techniques radiales individuelles.

$$IS_t^G = IG_t^G - IT_t^G$$

Avec :  $IS_t^G = \sum_{a=1}^N ISNR_{a,t}$ ,  $IG_t^G = \sum_{a=1}^N IGNR_{a,t}$  et  $IT_t^G = \sum_{a=1}^N ITNR_{a,t}$

$$IG_{a,t} = 1 + IGNR_{a,t} \left( \frac{\sum_{n=1}^N y_{n,t}}{y_{a,t}} \right), \quad \forall a \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (11)$$

$$IS_{a,t} = \frac{IG_{a,t}}{IT_{a,t}}, \quad \forall a \in \{1, 2, \dots, N\}$$

### Section 3 - Une estimation non paramétrique robuste des scores d'inefficacité par sous-échantillonnage

#### 3.1 - Le principe de l'approche robuste

L'ensemble de production, tout comme les fonctions distances définies dans les équations (3) et (9) demeurent des préoccupations majeures dans l'analyse empirique de l'efficacité. En réalité, la vraie frontière de production est inconnue, aussi un benchmark empirique doit être estimé. Le modèle DEA développé par Charnes et al. (1978) est habituellement considéré comme le plus approprié des modèles pour calculer de telles fonctions distance dans le cadre général des processus de production multi-outputs, multi-inputs. Grâce à sa nature non-

paramétrique, cette méthode de programmation linéaire permet de contourner tout risque de confusion entre les composantes d'inefficacité et les effets de *mis-spécification* liés aux choix arbitraires des formes fonctionnelles de la technologie généralement requis par les techniques économétriques. Cependant, parce que la méthode DEA est fondamentalement une technique d'enveloppement, sa principale difficulté est d'introduire un terme d'erreur, comme cela se fait habituellement dans les méthodes statistiques. Plus précisément, les observations extrêmes « *outliers* » très au-dessus du plan de production moyen peuvent impacter de manière significative les résultats estimés. Afin de pouvoir contourner cet inconvénient, on préfère utiliser la notion de frontières partielles estimées à partir de différents sous-échantillons plutôt que de procéder à l'approche habituelle d'une frontière unique estimée sur l'échantillon total. Ainsi, malgré le fait qu'une technologie soit toujours bien définie dans les modèles théoriques, cette analyse empirique considérera la présence potentielle d'observations extrêmes et appliquera une variante de la stratégie d'estimation partielle formulée par Kneip et al. (2008) qui ont prouvé la consistance des estimateurs d'inefficacité issus de cette approche.

Les estimateurs  $\hat{\theta}_{a,t}$  et  $\hat{\theta}_t^G$  obtenus de (PL1) et (PL2) peuvent être biaisés s'il existe des *outliers* dans l'échantillon de référence qui a été utilisé pour définir l'ensemble de production et la frontière associée. Pour outrepasser ce problème, un grand nombre de sous-échantillons aléatoires avec remise d'une taille prédéfinie sont sélectionnés à partir des pays initialement observés. Puisque le plan production estimé change en fonction des sous-échantillons, les *outliers* potentiels ne sont donc pas toujours inclus dans la technologie de référence. De ce fait, le pays évalué n'est pas toujours comparé aux observations extrêmes, bien que les *outliers* ne soient pas totalement ignorés. Cette stratégie conduit à des estimateurs d'inefficacités plus robustes et permet de construire une distribution empirique des scores issus des différents sous-échantillons.

### 3.2 - L'algorithme retenu

Comment se présente l'algorithme de calcul ? Pour tous les pays évalués,  $B$  itérations Monte-Carlo calculent une distribution des fonctions distance des résultats des sous-échantillons. Dans un premier temps, pour chaque itération ( $b = 1, \dots, B$ ), on génère un sous-échantillon aléatoire de taille  $M$  de manière indépendante, de façon uniforme en sélectionnant avec

remise des pays observés dans l'échantillon total initial. L'ensemble de production associé est noté  $\hat{T}_{t,VRS}^{b,M}$ , tel que :

$$\hat{T}_{t,VRS}^{b,M} = \left\{ (\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t) : \mathbf{x}_t \in R_+^I; \mathbf{y}_t \in R_+^O; \sum_{m=1}^M z_m y_{m,t}^o \geq y_t^o, o = 1, \dots, O, \right. \\ \left. \sum_{m=1}^M z_m x_{m,t}^i \leq x_t^i, i = 1, \dots, I; \sum_{m=1}^M z_m = 1; z_m \geq 0; m = 1, \dots, M \right\} \quad (13)$$

Ensuite, pour chaque plan de production  $(\mathbf{x}_{a,t}, \mathbf{y}_{a,t})$  avec  $a \in \{1, 2, \dots, N\}$ , la fonction distance (3) de l'output, dépendante du sous-échantillon  $b$  est donnée par :

$$\hat{D}_{t,VRS}^{b,M}(\mathbf{x}_{a,t}, \mathbf{y}_{a,t}) = \min \left\{ \theta_{a,t} : \left( \mathbf{x}_{a,t}, \mathbf{y}_{a,t} + \theta_{a,t} \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) \in \hat{T}_{t,VRS}^{b,M} \right\} \quad (14)$$

De la même façon, la fonction distance de l'output du plan de production agrégé est calculé en fonction du même sous-échantillon  $b$  :

$$\hat{D}_{t,VRS}^{G,b,M} \left( \sum_{n=1}^N \mathbf{x}_{n,t}, \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) = \min \left\{ \theta_t^G : \left( \sum_{n=1}^N \mathbf{x}_{n,t}, (1 + \theta_t^G) \sum_{n=1}^N \mathbf{y}_{n,t} \right) \in \hat{T}_{t,VRS}^{G,b,M} \right\} \quad (15)$$

Enfin, avec  $b = 1, \dots, B$  on peut déduire les distributions empiriques des scores d'inefficacité de tous les pays évalués et du plan de production agrégé, suivant :

$$\begin{aligned} IG_t^{G,b,M} &= \hat{\theta}_t^{G,b,M} \\ IG_t^{G,b,M} &= \sum_{a=1}^N IGNR_{a,t}^{b,M} \\ IG_{a,t}^{b,M} &= 1 + IGNR_{a,t}^{b,M} \left( \frac{\sum_{n=1}^N y_{n,t}}{y_{a,t}} \right) \\ ITNR_{a,t}^{b,M} &= \hat{\theta}_{a,t}^{b,M} \\ IT_{a,t}^{b,M} &= 1 + ITNR_{a,t}^{b,M} \left( \frac{\sum_{n=1}^N y_{n,t}}{y_{a,t}} \right) \\ IT_t^{G,b,M} &= \sum_{a=1}^N ITNR_{a,t}^{b,M} \\ IS_t^{G,b,M} &= IG_t^{G,b,M} - IT_t^{G,b,M} \\ IS_{a,t}^{b,M} &= \frac{IG_{a,t}^{b,M}}{IT_{a,t}^{b,M}}, \forall a \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (16) \end{aligned}$$

Dans le modèle déterministe traditionnel, tous les  $N$  pays observés sont dans l'équation (4) ; c'est-à-dire qu'un seul échantillon de taille  $M=N$  définit la sous-technologie de l'équation (13). Il en résulte que le pays évalué appartient toujours à l'ensemble de production et ses scores d'inefficacités sont donc toujours positifs. En revanche, dans l'approche par sous-échantillonnage, le processus d'échantillonnage appliqué à l'ensemble de production ne garantit pas que le plan de production soit inclus dans la technologie de référence ( $M < N$ ). Par conséquent, certains scores d'inefficacité peuvent être négatifs. Dans ce cas, le pays est situé au-dessus du benchmark partiel et est défini comme super efficient.

Les frontières partielles sont caractérisées par deux paramètres : le nombre d'itérations  $B$  et la taille  $M$  des sous-échantillons. Le nombre d'itérations ne semble pas crucial, parce qu'en choisissant un  $B$  suffisamment grand et bien approprié, il est possible de contrôler la sensibilité des résultats finaux. Le choix de la taille  $M$  semble plus essentiel. Quand  $M$  tend vers l'infini, on obtient un estimateur usuel, puisque chaque pays appartenant à l'échantillon initial a une forte probabilité de se retrouver dans la technologie de référence. Par ailleurs, si  $M$  est trop petit, la définition de la technologie peut ne pas être pertinente. Dès lors, par le choix d'une valeur arbitraire de  $M$ , l'approche par sous-échantillonnage implique un compromis entre la pertinence de la définition de la technologie et le contrôle des effets de biais des *outliers* sur la technologie.

## **Section 4 - Les modèles de catching-up technologique et de convergence structurelle conditionnels aux contextes des économies**

Les différents concepts précédemment définis (notamment les inefficacités globales, techniques et structurelles) révèlent que la convergence procède de deux processus : (i) atteindre les mêmes niveaux d'efficacités techniques, (ii) homogénéiser des mixes d'inputs et d'outputs similaires. Aussi, les estimations des équations (1) et (6) relatives à chaque itération  $b$  permet d'obtenir les distributions empiriques des paramètres du rattrapage technologique et de la convergence structurelle ( $\beta$  et  $\varphi$ ). Les  $B$  régressions utilisent les indices d'inefficacité radiale calculés dans l'équation (16). A ce stade, il importe de noter que notre approche ne requiert pas de choisir a priori un pays particulier (USA) comme le leader

de référence. Pour tous les pays, nous estimons les écarts technologiques respectifs par les distances qui les séparent de leur propre benchmark situé sur la frontière de production.

Cependant, la capacité d'adopter les meilleures pratiques peut être conditionnée à l'environnement actuel du pays, tels que les conditions financières et économiques, les politiques monétaires et budgétaires, le contexte institutionnel. Intuitivement, un cadre financier plus favorable, une politique fiscale plus incitative, une plus grande fluidité des échanges commerciaux seraient autant de facteurs pouvant générer de meilleures opportunités pour le pays à adapter sa technologie aux meilleures pratiques situées sur la frontière de production. Par ailleurs, certaines variables économiques peuvent accélérer la tendance d'un pays à modifier ses allocations de ressources et donc réduire ses inefficacités structurelles. De sorte que l'on peut supposer que les indices d'inefficacité sont affectés par les potentiels financiers et les changements de politiques. Afin de tester cette hypothèse, nous complétons les modèles standards de rattrapage technologique et de convergence avec des variables exogènes  $L$  qui décrivent les contextes économiques « *capabilities* » des pays et nous estimons les équations (17) et (18) :

$$\frac{\Delta IT_a^{b,M}}{IT_{a,t_0}^{b,M}} = \beta^{b,M} \ln(IT_{a,t_0}^{b,M}) + \phi^{b,M} L_{a,t_0} + \alpha_a^{b,M} + \mu_a^{b,M} \quad (17)$$

$$\frac{\Delta IS_a^{b,M}}{IS_{a,t_0}^{b,M}} = \varphi^{b,M} \ln(IS_{a,t_0}^{b,M}) + \eta^{b,M} L_{a,t_0} + \lambda_a^{b,M} + \mu_a^{b,M} \quad (18)$$

Les coefficients des vecteurs  $\phi^{b,M}$  et  $\eta^{b,M}$  sont négatifs si des niveaux plus élevés des variables exogènes contenues dans la matrice  $L$  produisent de plus faibles niveaux d'inefficacité.

Par les  $B$  régressions successives des équations (17) et (18), on obtient des distributions pour les paramètres concernés. Ensuite, en considérant les intervalles de confiance à 95% pour chaque paramètre, il est possible de tester l'influence conditionnelle sur le *catching-up* technique et le processus de convergence structurelle des variables explicatives utilisées.

## Section 5 - L'analyse empirique du rattrapage technologique et de la convergence structurelle

### 5.1 - Les données

Comme dans le chapitre précédent, nous exploitons la base des données macroéconomiques annuelles de l'Union Européen (AMECO) sur la période 1965-2015. Rappelons que notre étude porte sur deux ensembles de pays industrialisés. D'une part, 11 pays de la zone euro (Allemagne, Autriche, Belgique, Espagne, Finlande, France, Grèce Italie, Irlande, Pays-Bas, Portugal) et d'autre part 11 autres pays de l'OCDE (Australie, Canada, Danemark, Etats-Unis, Islande, Japon, Norvège, Nouvelle Zélande, Royaume-Uni, Suisse, Suède). Le choix de ces 22 pays repose essentiellement sur la disponibilité des données dans la base statistique de référence mais le lecteur peut se reporter à leur description plus précise et aux aménagements que nous avons détaillés dans le chapitre précédent.

Rappelons aussi que la technologie de référence relie le PIB ( $Y$ ) à l'emploi ( $L$ ) et au stock de capital fixe ( $K$ ). Le PIB aux coûts des facteurs et le stock net de capital fixe sont mesurés en milliards d'euros à prix constants 2010 respectant la parité de pouvoir d'achat, la quantité de travail est en milliers de personnes et reprend tous les emplois domestiques.

Cependant dans les estimations économétriques de convergence conditionnelle des équations (17) et (18), nous avons dû recourir à d'autres sources de données du fait de l'absence de certaines variables dans la base AMECO. Ces équations intègrent certaines variables nominales, en l'occurrence l'indice des prix harmonisés (2010 = 100), le taux de change réel en Euro des monnaies nationales, le ratio du déficit et de la dette publique de même que le niveau du taux d'intérêt de long terme. D'autres variables réelles sont aussi prises en compte comme le coût unitaire du travail, le taux d'ouverture de l'économie (exprimé par le ratio du solde de la balance courante sur le PIB).

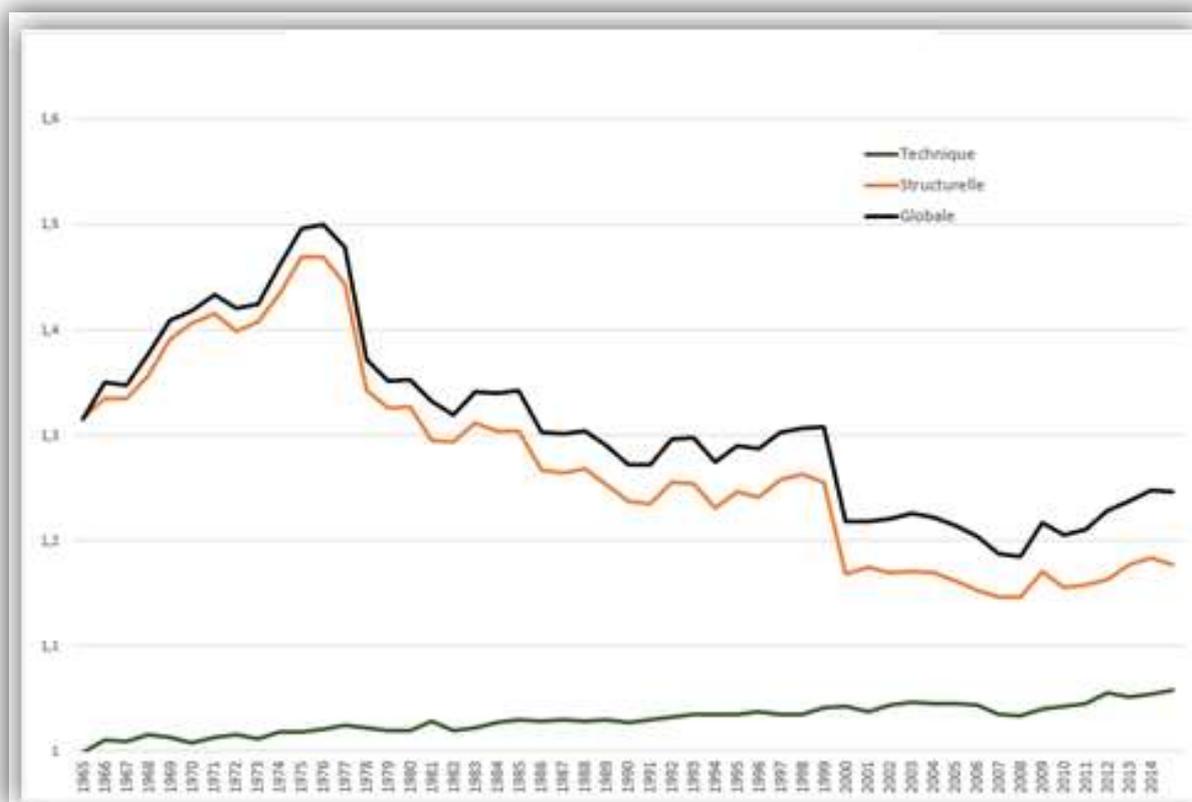
## 5.2 - Les scores robustes des inefficacités technique et structurelle

L'algorithme développé en point 3.2 a été implémenté pour le cas où  $M = 16$  pays et  $B = 500$  réplifications sur l'ensemble de la période 1965-2015<sup>44</sup>. A partir des distributions empiriques des scores des trois types d'inefficacité : globale, technique et structurelle respectivement égaux à  $IG_{a,t}^{b,M}$ ,  $IT_{a,t}^{b,M}$  et  $IS_{a,t}^{b,M}$  (cf. équation 16), les scores robustes par pays et par année sont mesurés par leur moyenne géométrique sur les 500 réplifications. De ces scores robustes, il est possible de comparer les évolutions chronologiques des inefficacités et de construire les figures qui suivent.

Le graphique 1 montre clairement que la principale composante de l'inefficacité globale est d'ordre structurel liée aux hétérogénéités des mixes d'inputs/output entre les pays de l'OCDE. Après une augmentation jusqu'en 1976, cette composante structurelle diminue significativement jusqu'en 2008 pour ensuite ré-augmenter quelque peu jusqu'en fin de période. La composante technique quant à elle augmente lentement mais régulièrement sur toute la période indiquant qu'en moyenne les pays développés se sont éloignés progressivement de leur benchmark (éloignement du PIB observé au PIB potentiel). Ceci signifie que s'il existe un processus de rattrapage technologique entre les pays, il ne peut se situer en moyenne qu'en dessous de la frontière de production et non pas vers cette frontière (cf. figure 1).

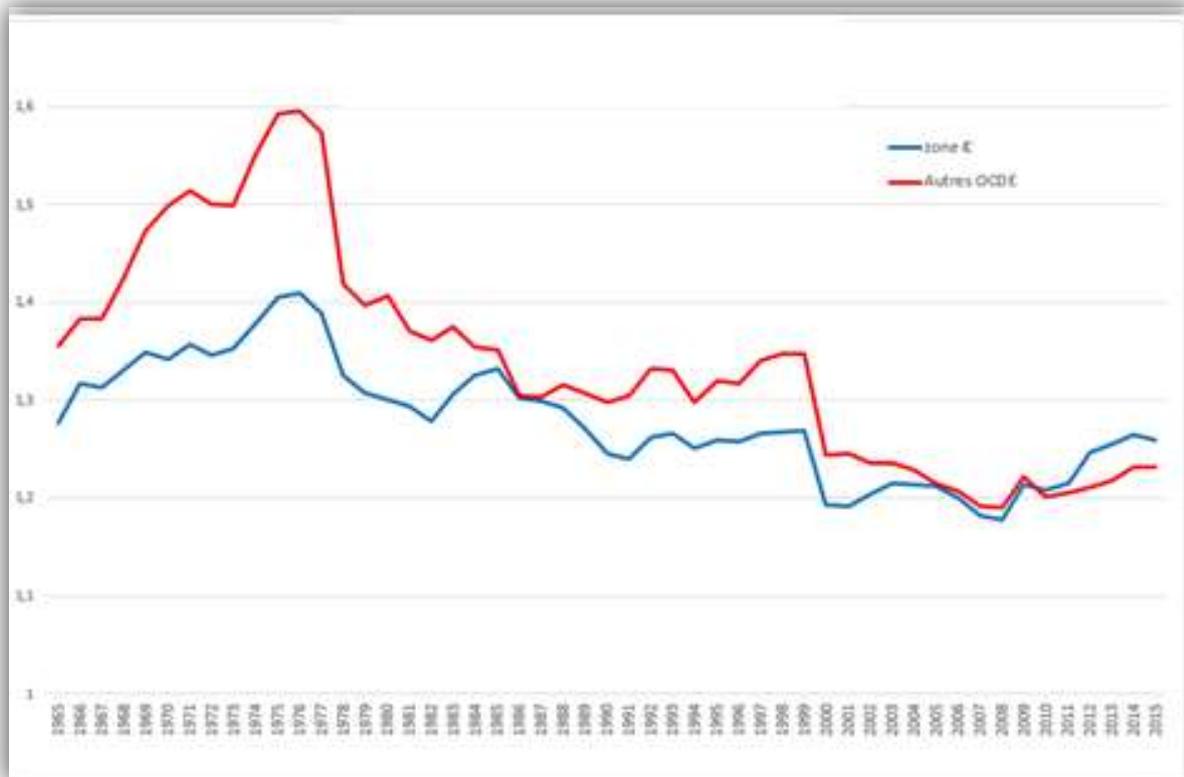
**Graphique 1 : Evolutions des différentes inefficacités pour l'ensemble des pays  
(moyenne géométrique des indices individuels)**

<sup>44</sup> Soit 561 000 programmes linéaires du type (PL1) et 25 500 programmes linéaires du type (PL2)

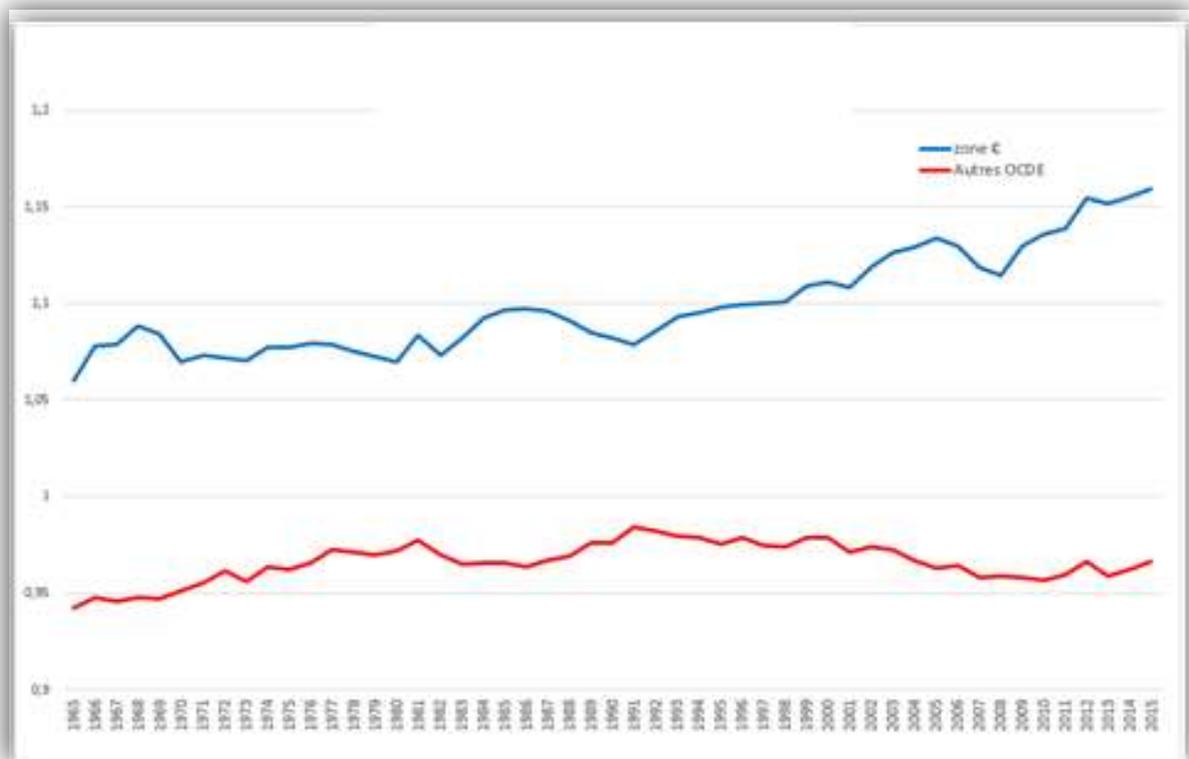


L'analyse des inefficacités globales entre les deux zones de pays étudiées fait apparaître une plus faible inefficacité pour la zone € jusqu'au milieu des années 2000. Cependant, celle-ci semble s'accroître relativement à celle des autres pays OCDE depuis 2009. Ces écarts d'efficacité globale entre les deux groupes étudiés sont en partie compensés par les différences de niveau entre les composantes technique et structurelle pour les deux zones de pays (cf. graphiques 3 et 4). La zone euro est caractérisée par une plus grande inefficacité technique tout au long de la période et son écart avec les autres pays OCDE s'accroît depuis le début des années 1990. À l'inverse, la composante structurelle est nettement moins élevée au sein de la zone euro indiquant une plus forte homogénéité des mixes d'inputs et output. Les diminutions observées jusqu'au début des années 2000 pour les deux zones apparaissent toutefois parallèles, indiquant que sur cette période une convergence structurelle est à l'œuvre au sein des deux groupes de pays.

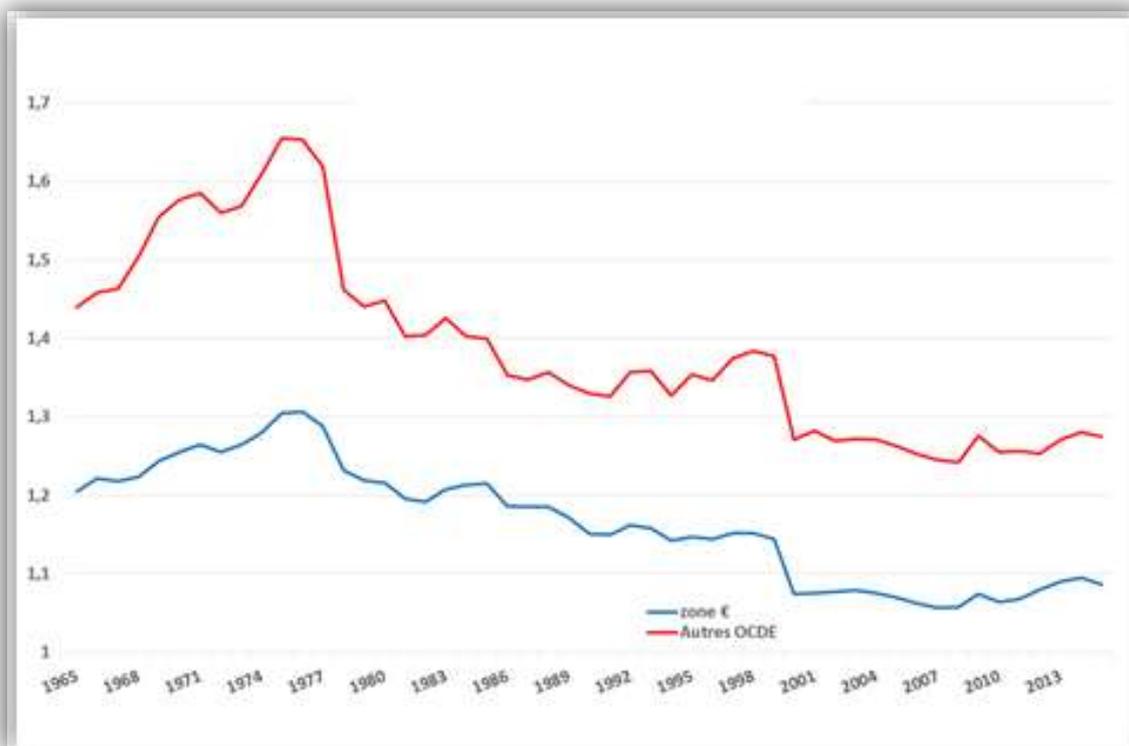
**Graphique 2 : Evolutions des inefficacités globales  
(moyenne géométrique des indices nationaux).**



**Graphique 3 : Evolutions des inefficacités techniques  
(moyenne géométrique des indices nationaux)**



**Graphique 4 : Evolutions des inefficacités structurelles  
(moyenne géométrique des indices nationaux)**



### 5.3 - Les résultats d'estimation du rattrapage technologique et de la convergence structurelle

#### 5.3.1 Le rattrapage technologique

En retenant une approche « within » incorporant un effet fixe par pays, nous avons effectué 500 estimations de l'équation (1) :

$$\frac{\Delta IT_a^b}{IT_{a,t_0}^b} = \beta^b \ln(IT_{a,t_0}^b) + \alpha_a^b + \mu_{a,t_0}^b, \forall b \in \{1, 2, \dots, 500\}, a \in \{1, 2, \dots, 22\}, \text{ indice des pays.}$$

Au lieu de retenir directement les taux de croissance et les niveaux d'inefficacité annuels trop sensibles aux aléas conjoncturels, nous avons préféré utiliser les tendances sur des sous-périodes de cinq années comme variable expliquée et le niveau initial de l'inefficacité de l'année  $t-6$ . Selon cette stratégie, pour chaque réplique  $b$ , l'échantillon de données comprend 46 observations par pays allant de 1965 à 2010 pour la variable explicative et des sous-périodes 1966-1970 jusqu'à 2011-2015 pour les trends repris comme variable expliquée.

Les 500 estimations permettent de construire les distributions empiriques des paramètres du rattrapage technologique  $\beta^b$ <sup>45</sup>. Un intervalle de confiance peut dès lors être établi pour conclure à la significativité ou non du résultat (cf. *Tableau 1*).

Que ce soit pour l'ensemble des pays ou pour chacune des deux zones, on constate un phénomène de rattrapage puisque le coefficient estimé est significativement négatif. Un test de Chow a été systématiquement développé pour conclure à une différence structurelle ou non entre les deux zones. La statistique moyenne de ces tests ( $F_{\text{calculé}}=11,52$ ) est nettement supérieure au seuil critique ( $F_{\text{critique}}=3.85$ ) permettant de conclure à une différence significative entre les deux zones<sup>46</sup> : le rattrapage technologique apparaît plus rapide pour le groupe « autres OCDE » que pour la zone €.

**Tableau 1**  
**Estimations du paramètre de rattrapage technologique selon les zones de pays**  
**Période 1965-2010**

Coefficients $\beta^b$	Ensemble	zone €	Autres OCDE
Moyenne des 500 tirages	-0.042	-0.031	-0.055
Borne > 2.50%	-0.080	-0.069	-0.093
Borne < à 97.50%	-0.026	-0.010	-0.032

Au regard des évolutions des inefficacités techniques du graphique 3, croissantes pour la zone € et quasi stables pour les autres pays de l'OCDE, s'il y a rattrapage technologique comme l'indique notre analyse économétrique, celui-ci ne peut se faire qu'en dessous de la frontière. En effet, les évolutions des niveaux d'inefficacité technique ne permettent pas aux pays de se

<sup>45</sup> Pour ne pas alourdir la notation, nous omettons volontairement l'exposant  $M$  indiquant le nombre de pays retenu dans le sous-échantillonnage de la procédure robuste

<sup>46</sup> Cette statistique F calculée pour chaque réplification confirme ce résultat moyen dans 75% des cas.

rapprocher du benchmark mais au contraire de converger entre eux en dessous de celui-ci.

Conformément au point 2.1, la condition  $Ln(IT_{a,t_0}^b) > -\frac{\alpha_a^b}{\beta^b}$  nécessaire à une convergence vers la frontière n'est avérée qu'à peine pour 43% des tirages. Cependant des différences notables existent entre les pays qu'ils soient de la zone € ou pas. On remarque qu'en tendance, l'Irlande, la Finlande et la Belgique rattrapent la frontière de production alors que les pays du Sud comme les pays du Sud de L'Europe (Grèce, Espagne, Portugal et Italie) s'en éloignent. Pour l'autre zone, ce sont la Suisse, l'Islande, le Japon et le Canada qui s'écartent du benchmark.

**Tableau 2**  
**Pourcentages des cas de rattrapage tendanciel vers la frontière**

Belgique	Allemagne	Irlande	Grèce	Espagne	France	Italie	Pays-Bas	Autriche	Portugal	Finlande	zone €
80.4%	47.2%	99.2%	14.0%	13.2%	51.6%	21.2%	54.6%	43.4%	3.0%	89.6%	47.0%
Danemark	Suède	UK	Islande	Norvège	Suisse	USA	Japon	Canada	Australie	N.Zélande	Autres OCDE
62.0%	66.8%	61.8%	18.8%	45.0%	4.2%	42.2%	21.6%	22.2%	28.8%	59.2%	39.3%

### 5.3.2 La convergence structurelle

Suivant la même stratégie d'estimation que pour la composante technique, nous développons 500 régressions du type within de l'équation (6) sur l'ensemble des 46 années :

$$\frac{\Delta IS_a^b}{IS_{a,t_0}^b} = \varphi^b Ln(IS_{a,t_0}^b) + \lambda_a^b + \mu_{a,t_0}^b, \forall b \in \{1, 2, \dots, 500\}, a \in \{1, 2, \dots, 22\}, \text{ indice des pays}$$

Les intervalles de confiance établis dans le tableau 3 nous permettent de confirmer le phénomène de convergence structurelle illustré par le graphique 4 tant pour les pays de la zone euro que ceux pour la zone autres OCDE.

**Tableau 3**  
**Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays**  
**Période 1965-2010**

Coefficients $\phi^b$	Ensemble	zone €	Autres OCDE
Moyenne des 500 tirages	-0.086	-0.084	-0.089
Borne > 2.50%	-0.145	-0.146	-0.156
Borne < à 97.50%	-0.031	-0.026	-0.037

De plus, conformément aux évolutions quasi parallèles des inefficacités structurelles des deux groupes de pays, le test de Chow indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les vitesses de convergence. En effet, la statistique moyenne de ces tests ( $F_{\text{calculé}}=2,63$ ) est inférieure au seuil critique ( $F_{\text{critique}}=3.85$ )<sup>47</sup> : ainsi la convergence structurelle n'apparaît pas plus rapide pour le groupe « autres OCDE » que pour la zone €.

Cependant l'analyse du graphique 4 montre 3 sous-périodes bien distinctes quant aux évolutions des inefficacités structurelles. La première de 1965 à 1974 indique un mouvement de divergence et effectivement d'après le tableau 4, l'analyse économétrique reliant les niveaux initiaux des scores au trend de leurs variations sur les cinq prochaines années ne permettent pas de conclure à une convergence des mixes d'input/output entre les pays de chaque zone.

---

<sup>47</sup> Cette statistique F calculée pour chaque réplification confirme ce résultat moyen dans 78% des cas.

**Tableau 4**  
**Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays**  
**Période 1965-1974**

Coefficients $\phi^b$	Ensemble	zone €	Autres OCDE
Moyenne des 500 tirages	-0.192	-0.175	-0.199
Borne > 2.50%	-0.541	-0.614	-0.540
Borne < à 97.50%	0.120	0.169	0.127

Par contre sur la période suivante allant de 1975 à 1999, les deux zones sont caractérisées par un fort mouvement de convergence. C'est ce que confirme les régressions effectuées sur cet intervalle de temps, les coefficients de convergence sont tous significativement négatifs.

**Tableau 5**  
**Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays**  
**Période 1975-1999**

Coefficients $\phi^b$	Ensemble	zone €	Autres OCDE
Moyenne des 500 tirages	-0.143	-0.140	-0.142
Borne > 2.50%	-0.253	-0.243	-0.261
Borne < à 97.50%	-0.030	-0.021	-0.033

Enfin la dernière période 2000-2015, correspondant à l'existence de la zone euro, ne permet pas d'observer une convergence pour les pays membres qui à ce propos ne se distinguent pas des autres pays de l'OCDE.

**Tableau 6**  
**Estimations du paramètre de convergence structurelle selon les zones de pays**  
**Période 2000-2010**

Coefficients $\phi^b$	Ensemble	Zone €	Autres OCDE
Moyenne des 500 tirages	-0.103	-0.097	-0.100
Borne > 2.50%	-0.264	-0.235	-0.272
Borne < à 97.50%	0.107	0.169	0.107

### 5.3.3 La conditionnalité du rattrapage technologique et de la convergence structurelle

Le même exercice économétrique est ici développé en ajoutant un ensemble de variables caractérisant les différents pays retenus dans notre étude. Reprenant les équations (17) et (18), nous avons intégré dans l'ensemble des variables  $L$  certaines composantes nominales, réelles ou structurelles. Le choix de ces variables s'est inspiré de notre revue de la littérature mais il a aussi été contraint par la disponibilité des sources statistiques.

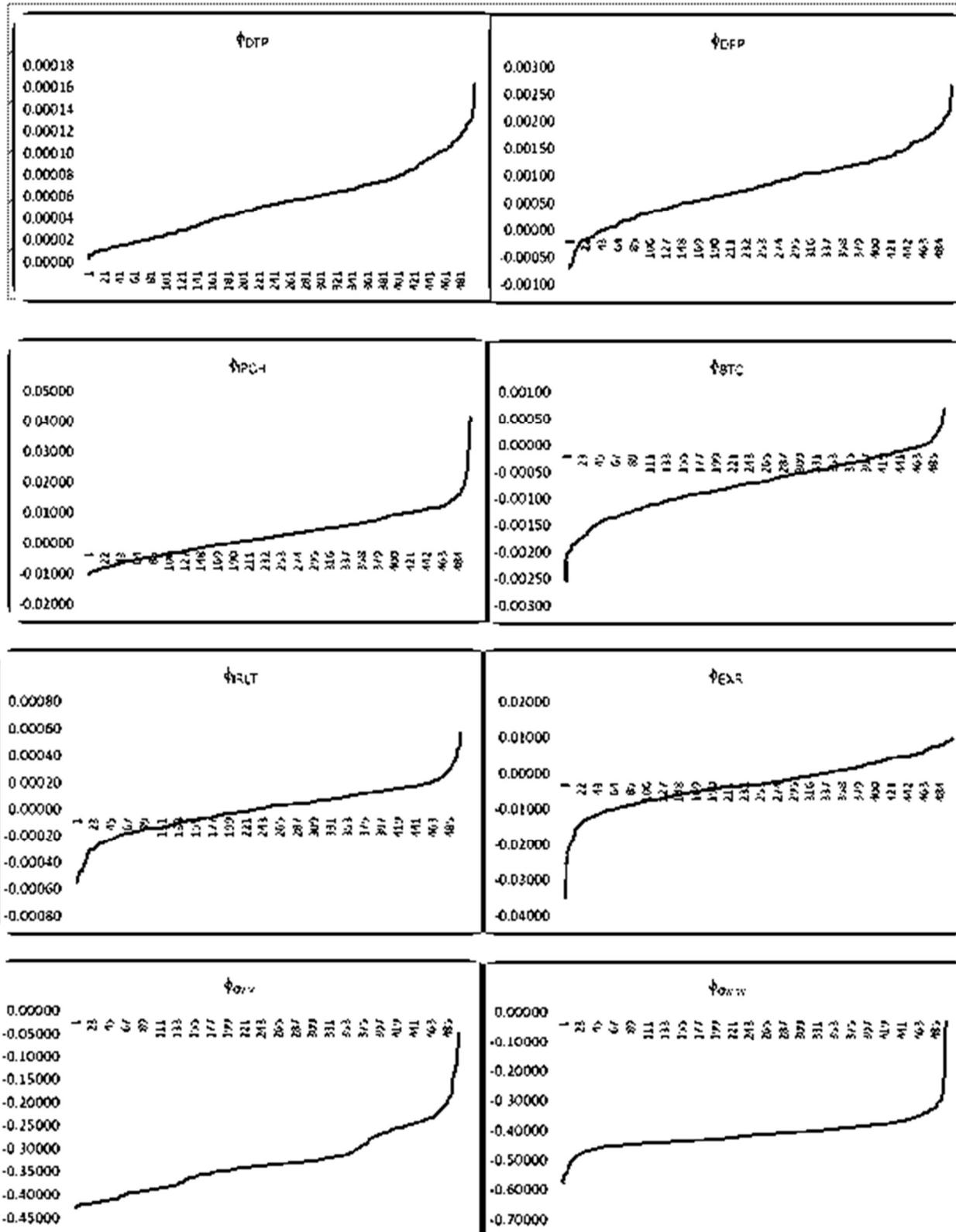
La dette publique ( $DTP$ ) et le déficit public ( $DFP$ ) exprimés en pourcentage du PIB nominal sont les deux composantes révélant le degré d'effort ou de laxisme budgétaire des gouvernements au cours de la période d'analyse. L'inflation mesurée par l'indice des prix à la consommation harmonisée ( $IPCH$ ), le taux de change réel ( $EXR$ ), le taux d'intérêt de long terme ( $IRLT$ ), se référant aux critères de Maastricht, contextualisent les conjonctures et les éléments structurels des politiques économiques des pays. Les évolutions respectives des coûts unitaires du travail ( $dw/w$ ) et du capital ( $dv/v$ ) mesurées par leurs trends sur des sous-périodes de cinq années complètent ce premier jeu de variables exogènes. Enfin, le solde de la balance des transactions courantes en pourcentage du PIB ( $BTC$ ) est intégré à l'analyse pour prendre en compte le degré d'ouverture des économies. A la différence des indicateurs usuels (taux de pénétration, taux d'ouverture, ou volume des investissements directs à l'étranger), le ratio de la balance des transactions courantes dans le PIB est présenté par des experts de la Commission Européenne comme le meilleur outil d'analyse de la compétitivité entre les pays européen (European Commission, 2010 ; Zemanek et al., 2010).

Le tableau 7 et les graphiques 5 synthétisent les principaux résultats concernant le modèle de rattrapage technologique conditionnel (équation 17).

**Tableau 7**  
**Estimations du paramètre de rattrapage technologique conditionnel selon les zones de pays**  
**Période 1965-2010**

Coefficients $\beta^p$	Ensemble	zone €	Autres OCDE
Moyenne des 500 tirages	-0.038	-0.028	-0.059
Borne > 2.50%	-0.101	-0.077	-0.121
Borne < à 97.50%	-0.012	0.000	-0.028

**Graphiques 5 :**  
*distributions statistiques des estimateurs des paramètres relatifs aux variables*



---

Les distributions des estimateurs  $\beta$  du tableau 7 ne sont guère différentes de celles du tableau 1 indiquant un mouvement de rattrapage technologique entre les pays et notamment plus rapide pour le groupe des autres OCDE. Cependant d'après les graphiques 5, ce rattrapage semble conditionné par plusieurs éléments. Les valeurs positives de  $\phi_{DIP}$  (100% des tirages) et de  $\phi_{DFP}$  (91% des tirages) indique que le laxisme budgétaire mesuré par le taux d'endettement et le taux de déficit public ralentit le rattrapage technologique. Les travaux de Soukiazis et Castro (2005), évoqués dans notre premier chapitre, débouchent sur un résultat similaire en ce qui concerne le ratio du déficit public. Par contre, ils trouvent que la dette publique aurait un effet neutre sur la productivité du travail. Dans la littérature concernant les effets de la politique budgétaire sur la croissance<sup>48</sup>, des conclusions contradictoires ont été soulevées. En effet, l'impact des dépenses publiques serait favorable selon les Keynésiens (Bose et al, 2003 ; Fischer, 1963), défavorable pour les néoclassiques (Afonso et Jalles, 2013 ; Bivens et Irons, 2010) ou neutre pour les ricardiens (Kormendi et Meguire, 1985). L'ensemble des approches se synthétiserait par celle de l'effet de seuil qui postule que l'effet budgétaire serait favorable, jusqu'à un certain seuil de neutralité avant de redevenir défavorable (Barro, 1990 ; Adam et Bevan, 2005 ; Neaime, 2015). Et ce seuil, variable suivant l'environnement économique, dépendrait de l'effet d'éviction des dépenses publiques peu productives à l'exception de celles effectuées dans les infrastructures (Égert, 2015 ; Baum et al., 2015), les subventions à l'éducation (Darreau, 2003 ; Reinhart and Rogoff, 2010), à la R&D (Jaffe et Le, 2015 ; Nicolaidis, 2013) et l'environnement (Minviel et Witte, 2016 ; Nauleau et al., 2015). Par ailleurs, la politique fiscale (taxes et impôts) de paiement de la dette ou du déficit peut, suivant qu'elle pèse plus sur le travail ou le capital, impacter la substitution des facteurs et freiner le processus de convergence de productivité. En effet, suivant que la taxation pèse plus sur le travail ou sur le capital, la décision de substituer du capital au travail ou vice versa pourra être ralentie et donc impacter l'accès à une meilleure technologie (IFM staff, 2015).

---

<sup>48</sup> Pour la littérature, voire aussi Goulas et Zervoyianni (2012) ; Reinhart and Rogoff (2010) ; Panizza et Presbitero, (2015)

Puisque les coefficients estimés  $\phi_{dw/w}$  et  $\phi_{dv/v}$  sont négatifs sur l'ensemble de leurs distributions empiriques, ils indiquent qu'une hausse relative des coûts unitaires du travail et du capital implique une accélération du rattrapage technologique via la réduction des inefficacités. Ce résultat rejoint la conclusion de Boussemart et al. (2016) qui ont montré une corrélation positive entre les rémunérations reçus par les facteurs primaires (travail et capital) et les gains de productivité globale des facteurs pour l'économie américaine au cours des 25 dernières années.

De même l'excédent de la balance des transactions courantes amplifie le catching-up puisque pour 94% des tirages, le coefficient estimé  $\phi_{BIC}$  est négatif. L'impact des échanges internationaux dans la diffusion de l'innovation technique est controversé dans la théorie de la croissance (Frankel et Romer, 1999 ; Cameron et al., 2005). Le rattrapage technologique est d'autant plus facilité que les pays followers accèdent aux innovations des pays leaders (Kneller et Milner, 2003). La dynamique des échanges internationaux est positivement corrélée à celle de la productivité du travail ou de la PGF (Desli, et Pelagidis, 2003), et se traduit par une réduction des écarts technologiques (Alaca et Ciccone, 2004) et/ou une diminution des inefficacités techniques (Khan, 2006), tant au niveau méso qu'au niveau macroéconomique. Ainsi Cameron et al. (2005) trouvent que depuis les années 1970 le taux de pénétration de l'économie britannique avait un effet favorable sur l'évolution de la PGF des industries.

Finalement les variables monétaires (taux d'inflation, taux d'intérêt de long terme et taux de change réel) n'attestent pas d'effets conditionnels sur le rattrapage. Ce résultat concorde avec la théorie de la neutralité monétaire<sup>49</sup> qui veut qu'à long-terme, les variables monétaires n'aient aucun effet sur l'économie réelle. L'étude empirique de Ventosa-Santaulària et Noriega (2015) sur divers pays OCDE et sur des périodes différentes utilise la méthode Bootstrap pour estimer la distribution de l'impact des agrégats de la masse monétaire et du niveau des prix sur la croissance et conclut à la totale neutralité de la monnaie. Ce résultat est aussi partagé par Soukiazis et Castro (2005) dans l'étude de la convergence de la productivité

---

<sup>49</sup> Pour la revue de la littérature voir Ventosa-Santaulària et Noriega, 2015 ; May-Jean Tang, 2016

du travail conditionnelle aux variables nominales des critères de la zone euro. Cependant, divers travaux portant sur des variables monétaires conduisent à des résultats contrastés. Par exemple, Apergis et Miller (2007) obtiennent un effet positif du taux directeur de la Réserve Fédérale sur la PGF de l'Economie des USA. Selgin et al., (2015) estiment que des objectifs de niveaux d'inflation et de taux d'intérêt ont également permis de faire face à la crise des subprimes. Plus généralement, la réduction de l'inflation a un effet positif (Mollick, et al, 2011 ; Andersen et al., 2015 ; Hartmann et Roestel, 2013). Toutes ces dernières conclusions issues d'analyses sur données conjoncturelles révèlent des effets de court terme. Ainsi comme le font remarquer Missio et Gabriel (2016) au sujet du lien entre taux de change et processus de rattrapage technologique, la flexibilité du taux de change participerait à un meilleur ajustement de l'économie à un choc technologique<sup>50</sup> (diffusion et adoption de l'innovation), par contre sur le long terme, le rattrapage dépendrait davantage d'indicateurs de la sphère réelle (élasticité du taux de croissance de la productivité ou de l'exportation par rapport au PIB).

En ce qui concerne l'équation (18) relative à la convergence structurelle conditionnelle, seules les variables concernant les taux de croissance des coûts unitaires du travail et du capital jouent un rôle significatif. Les coefficients estimés du coût du travail  $\eta_{dw/w}$  du coût du capital  $\eta_{dv/v}$  sont respectivement négatifs pour 93% et 91% des tirages (cf. tableau 8).

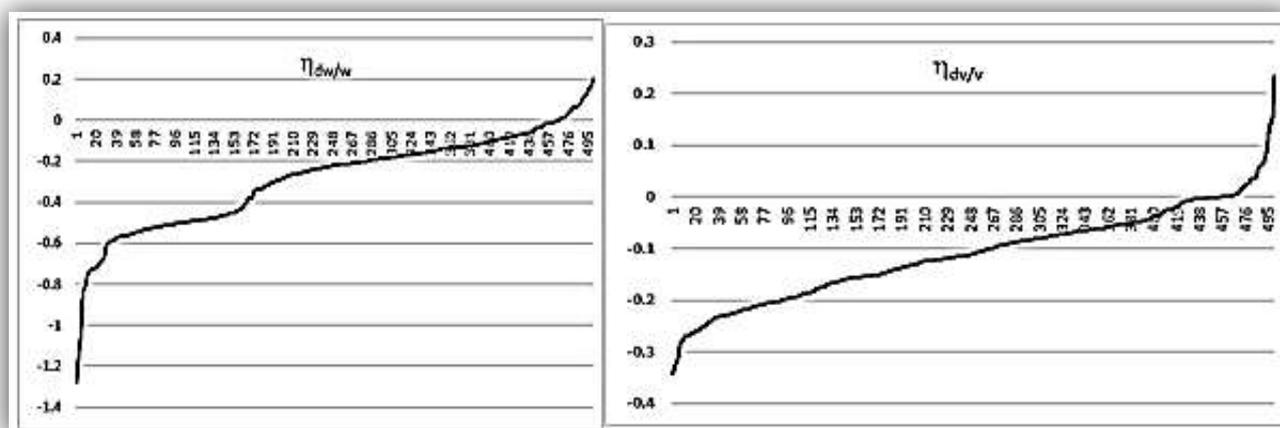
---

<sup>50</sup> Ce résultat est contesté par Caglayan et Demir (2014) pour qui l'incertitude liée au change flexible aurait un impact négatif sur la productivité, c'est par contre le taux d'appréciation de la monnaie qui aurait un effet positif sur la productivité dans le cas d'entreprises tournées vers l'exportation ; en revanche, il aurait un effet dépressif sur les firmes non-exportatrices. Plus largement, le régime de taux de change peu volatile ou l'appartenance à une même zone monétaire serait propice aux échanges et offrirait l'opportunité aux pays à faible niveau de technologie de bénéficier de l'effet backwardness pour se rapprocher du benchmark (Arratibel et al, 2011) en fonction de la taille et de la structure des économies (Aghion et al., 2009).

**Tableau 8**  
**Estimations du paramètre de convergence structurelle conditionnel selon les zones de pays**  
**Période 1965-2010**

Coefficients $\phi^b$	Ensemble	zone €	Autres OCDE
Moyenne des 500 tirages	-0.085	-0.077	-0.087
Borne > 2.50%	-0.146	-0.149	-0.152
Borne < à 97.50%	-0.034	-0.027	-0.036

**Graphiques 6 :**  
**distributions statistiques des estimateurs des paramètres relatifs aux variables**



L'équation de la comptabilité de la croissance néoclassique explique bien la dynamique de la productivité résultant de la variation des facteurs pondérée par leur part et augmentée du résidu non expliqué (Solow, 1957 ; Albelo, 1999). Ainsi, d'une part l'évolution à long terme de l'économie nécessite un ajustement de l'allocation des ressources pour en soutenir la dynamique tant en termes d'innovation du facteur capital qu'en celui de la qualification croissante de capital humain (Van Ark et al. 2005 ; Krüger, 2008 ; Hartwig, 2015). En somme, à partir de plans de production technologiquement efficaces, la réduction de l'inefficacité structurelle suppose une allocation plus efficace des ressources au niveau agrégé (Samaniego et Sun, 2016 ; Mayer et Zelenyuk, 2013 ; Kulatilaka et Anandalingam, 1987). En définissant l'ajustement structurel comme un mécanisme de réallocation des ressources entre les pays (Haynes, et al. 2002 ; Chen et al. 2011), une zone monétaire se prêterait mieux que tout autre ensemble d'économies non structurées à une homogénéisation des mixes

d'outputs/inputs. Cette homogénéisation serait permise par une meilleure mobilité des capitaux et une plus grande flexibilité du marché du travail (Herwartz et Siedenburg, 2013 ; Dullien et Fritsche, 2008). Pourtant, dans la zone euro certains travaux (Dullien et Fritsche, 2008 ; Ordóñez, et al. 2015 ; Noble, 2012) révèlent que la divergence des coûts unitaires entre les pays intervient uniquement après l'introduction de la monnaie unique alors qu'en amont de la mise en œuvre des critères de Maastricht les coûts unitaires convergeaient. La mobilité du facteur travail serait limitée à cause des différences linguistiques et culturelles mais aussi par l'activité syndicale qui freinerait toute législation en faveur de la flexibilité du marché du travail.

## Conclusion :

L'analyse des processus de rattrapage technologique avec les fonctions distances directionnelles non-paramétriques révèle deux mouvements possibles. L'un se réalisant vers la frontière, les pays followers se rapprochent du benchmark pendant que les pays leaders continuent d'améliorer leur performance technique. L'ensemble des pays de l'échantillon atteste alors d'une amélioration globale des pratiques de production tout en sauvegardant l'hypothèse de convergence des productivités.

Le deuxième mouvement est celui du rattrapage en dessous de la frontière. Alors que les pays followers continuent de résorber leurs écarts de productivité, certains leaders peuvent décrocher du benchmark et perdent en efficacité. Dans cette dynamique de rattrapage en dessous de la frontière de production (ce qui est le cas pour 47% des cas dans la zone euro et 39% dans la zone autre OCDE), l'hypothèse de convergence entre pays conserve encore toute sa pertinence tandis que l'alignement des productivités vers les niveaux optimaux du benchmark semble ne plus porter toute sa mesure. En ce qui concerne la convergence structurelle, il en résulte que la principale composante de l'inefficacité globale est liée aux hétérogénéités des mixes d'inputs/output entre les pays de l'OCDE.

D'après nos résultats, le processus de rattrapage est amplifié par les hausses des prix facteurs de production et le degré d'ouverture à l'international alors qu'il est freiné par la dette et le déficit publics. S'agissant de la convergence structurelle, seules les évolutions des coûts unitaires des facteurs de production exercent un impact favorable.

## BIBLIOGRAPHIE DU CHAPITRE IV

- Abramovitz, M. (1986). Catching up, Forgoing Ahead and Falling behind. *The Journal of Economic History*, Vol. 46, n°2, 385-406.
- Adam, C., et Bevan, D. (2005). Fiscal deficits and growth in developing countries. *Journal of Public Economics* 89, 571 – 597.
- Afonso, A., et Alves, J. (2014). The Role of Government Debt in Economic Growth. *LSEFG-Working paper 16/2014*.
- Aghion, P., Bacchetta, P., Ranciere, R., et Rogoff, K. (2009). Exchange rate volatility and productivity growth: The role of financial development. *Journal of Monetary Economics* 56, 494–513.
- Alacà, F., et Ciccone, A. (2004). Trade and Productivity. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 119, No. 2, 613-646.
- Albelo, C. (1999). Complementarity between physical and human capital, and speed of convergence. *Economics Letters* 64 , 357–361.
- Anandalingam, G., et Kulatilaka, N. (1987). Decomposing Production Efficiency into Technical, Allocative and Structural Components. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A* Vol. 150, No. 2, 143-151.
- Andersen, T., Malchow-Moller, N., et Nordvig, J. (2015). Inflation targeting, flexible exchange rates, and macroeconomic performance since the Great Recession. *Discussion Papers on Business and Economics* No. 22.
- Apergis, N., et Miller, S. (2007). Total Factor Productivity and Monetary Policy: Evidence from Conditional Volatility. *International Finance* 10 (2), 131–152.
- Arcelus, F. J., et Arocena, P. (2000). Convergence and productive efficiency in fourteen OECD countries: A non-parametric frontier approach. *Int. J. Production Economics* 66, 105-117.
- Arratibel, O., Furceri, D., Martin, R., et Zdzienicka. (2011). The effect of nominal exchange rate volatility on real macroeconomic performance in the CEE countries. *Economic Systems* 35, 261–277.
- Badunenko, O., Henderson, D., et Zelenyuk, V. (2007). Technological Change and Transition: Relative Contributions to Worldwide Growth During the 1990's. *DIW Berlin, German Institute for Economic Research, Discussion Papers* 740.
- Barro, R. (1990). Government spending in a Simple Model of Endogeneous Growth. *The Journal of Political Economy*, Vol.98, No 5, part 2, S103-S125.
- Barro, R. (2013). Inflation and Economic Growth. *Annals of Economics and Finance*, 14-1, 85-109.
- Baum, A., Chercherita-Westphal, C., et Rother, P. (2015). Debt and growth: New Evidence for The Euro Area. *Journal of International Money and Finance* 32, 809–821.

- Bivens, J., et Iron, J. (2010). Government debt and economic growth. *Economic Policy Institute (EPI) Briefing Paper 271*.
- Bose, N., Haque, M., et Osborn, D. (2007). Public expenditure and economic growth: A disaggregated analysis for developing countries. " *The Manchester School*, vol. 75, 533–556.
- Briec, W., Dervaux, B., et Leleu, H. (2003). Aggregation of Directional Distance Functions and Industrial Efficiency. *Journal of Economics*, 79(3), 237- 261.
- Caglayan, M., et Demir, F. (2014). Firm Productivity, Exchange Rate Movements, Sources of Finance, and Export Orientation. *World Development Vol. 54*, 204–219.
- Cameron, G., Proudman, J., et Redding, S. (2005). Technological convergence, R&D, trade and productivity growth. *European Economic Review* 49, 775 – 807.
- Charnes A., W., Cooper, et Rhodes, E. (1978). Measuring Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429- 444.
- Chen, S., Jefferson, G., et Zhang, J. (2011). Structural change, productivity growth and industrial transformation in China. *China Economic Review* 22, 133–150.
- Christopoulos, D., et León-Ledesma, M. (2007). Unemployment hysteresis in EU countries: what do we really know about it? *Journal of Economic Studies*, Vol. 34 Iss: 2,, 80 - 89.
- Coelli, T., Rao, P., O'Donnell, C., et Battese, G. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. New York: Springer Science+Business Media, 2th Edition.
- Cooper, W., Seiford, L., et Tone, K. (2000). *Data Envelopment analysis: A comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-solver Software*. Boston: Kluwer Academic Publishers .
- Darreau, P. (2003). *Croissance et politique économique*. De Boeck.
- Debreu, G. (1951). The coefficient of Resource Utilisation. *Econometrica*, 19, 273-292.
- Desli, E. (2003). Convergence and efficiency: evidence from the EU-15. *Journal of Post Keynesian Economics / Spring 2009*, Vol. 31, No. 3 403.
- Domazlicky, B., et Weber, W. (1997). Total Factor Productivity in the Contiguous United States, 1977–1986. *Journal of Regional Science Volume 37, Issue 2*, 213–233.
- Dowrick, S., et Nguyen, D.-T. (1989). OECD Comparative Economic Growth 1950-85: Catch-Up and Convergence. *The American Economic Review*, Vol. 79, No. 5, 1010-1030.
- Dullien, S., et Fritsche, U. (2008). Does the dispersion of unit labor cost dynamics in the EMU imply long-run divergence? *IEEP* 5, 269–295.
- Egert, B. (2015). Public debt, economic growth and nonlinear effects: Myth or reality? *Journal of Macroeconomics*, 2015, vol. 43, issue C, , 226–238.
- Euroepan\_commission. (2010). Surveillance of Intra-Euro-Area Competitiveness and Imbalances. *European Economy 1/2010*, DG for Economic and Financial Affairs.

- Ezcurra, R., et Rapun, M. (2007). Regional dynamics and convergence profiles in the enlarged European Union: A non-parametric approach,. *Tijdschrift Voor Economische en Sociale Geografie*, 98(5), 564-584.
- Färe, R., Grosskopf, S., et Margaritis, D. (2006). Productivity Growth and Convergence in the European Union. *Journal of Productivity Analysis Vol. 25, Issue 1*, 111–141.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., et Zhang, Z. (1994). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries,. *American Economic Review vol.84, No 1*, 66-83.
- Farell, M. (1957). The Measurement of Productive efficiency. *Journal of Th Royal Statistical Society, Series A (General), Vol.120, No3*, 253-290.
- Farole, T., Rodriguez-Pose, A., et Storper, M. (2011). Cohesion Policy in the European Union: Growth, Geography, institutions. *JCMS, vol.49, No 5*, 1089-1111.
- Filippetti, A., et Peyrache, A. (2013). Is the convergence party over? Labour productivity and the technology gap in Europe. *J Common Mark Stud (JCMS) 51(6)*, 1006–1022.
- Fischer, S. (1963). The Role of Macroeconomic factors in Growth. *NBERWorking Paper No. 4565*.
- Foddi, M., et Usai, S. (2013). Technological catching up among European regions: Lessons from Data Envelopment Analysis. *SEARCH Working Paper, WP4/02*.
- Forstner, H., et Isaksson, A. (2002). Productivity, Technology, and Efficiency: An Analysis of the World Technology Frontier When Memory is Infinite. *UNIOD-SIN Workin Paper, No 7*.
- Forsund, F., et Sarafoglou, N. (2002). On the Origins of Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis, 17*, 23–40.
- Frankel, J., et Romer, D. (1999). Does trade cause growth? *American Economic Review 89 (3)*, 379–399.
- Goulas, E., et Zervoyianni, A. (2012). Growth, Deficit and Uncertainty in a panel o 28 Countries. *The Rimini Centre for Economic Analysis (RCEA), WK.12-52*.
- Greene, W. (2007). *Econometric Analysis, Sixth edition*. New York: New York University.
- Hartmann, M., et Roestel, J. (2013). Inflation, output and uncertainty in the era of inflation targeting – A multi-economy view on causal linkages. *Journal of International Money and Finance 37*, 98–112.
- Hartwig, J. (2015). Structural change, aggregate demand and employmentdynamics in the OECD, 1970–2010. *Structural Change and Economic Dynamics 34*, 36-45.
- Haynes, M., Hupward, R., et Wright, P. (2002). Estimating the Wage Costs of Inter and Intra-Sectoral Adjustment. *Weltwirtschaftliches Archives, Vol. 138 (2)*, 229-253.
- Henderson, D., et Russell, R. (2005). Human Capital and Convergence: A Production-Frontier Approach. *International Economic Review, Vol. 46, No. 4*, 1167-1205.
- Herwartz, H., et Siedenburg, F. (2013). To converge or not converge: unit labor cost inflation in the Euro area. *Empir Econ., 44*, 455–467.

- Hulten, C. (2001). Total Factor Productivity. A Short Biography. Dans C. Hulten, & al., *New Developments in Productivity Analysis* (pp. 1-54). Chicago: University of Chicago Press.
- IFM\_Staff. (2015). Fiscal Policy and Long-term Growth. *IFM Policy Paper*, <http://www.imf.org/external/pp/ppindex.aspx>.
- Islam, N. (2001). Different Approaches to International Comparison of Total. Dans C. Hulten, & al., *New Developments in Productivity Analysis* (pp. 465 - 508). Chicago: University of Chicago Press.
- Islam, N. (2003). Productivity dynamics in a large sample of countries: A panel study. *Review of Income and Wealth, Series 49, Number 2,, 247-272*.
- Jaffe, A., et Le, T. (2015). The impact of R&D subsidy on innovation: a study of New Zealand firms. *Motu Working Paper 15-08*.
- Jerzmanowski, M. (2007). Total factor productivity differences: Appropriate technology vs. efficiency. *European Economic Review 51, 2080-2110*.
- Khan, S. (2006). Productivity Growth, Technological Convergence, R&D, Trade, and Labor Markets: Evidence from the French Manufacturing Sector. *IMF; Working paper /06/230*.
- Kneip, A., Simar, L., et Wilson, P. (2008). Asymptotics and consistent bootstraps for DEA estimators in non-parametric frontier model. *Econometric Theory 24, 1663–1697*.
- Kneller, H., et Milner, C. (2003). Trade, Technology Transfer and National Efficiency in Developing Countries. *GEP-Research Paper.50*.
- Koopmans, T. (1951). An analysis of production as an efficient combination of Activities. Dans T. Koopmans, *Activity Analysis of Production and Allocation Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No13*. New York: Wiley.
- Kormendi, R., et Meguire, P. (1985). “Macroeconomic Determinants of Growth: Cross-Country evidence. *Journal of Monetary Economics, vol 16, issue 2, 141-163*.
- Krüger, D., et Kumar, K. (2004a). Us-Europe differences in technology driven growth; quantifying the role of education. *Journal of Monetary Economics, vol.51, 161-190*.
- Krüger, D., et Kumar, K. (2004b). Skill specific rather than general education: a reason for US-Europe growth differences? *Journal of Economic Growth, vol.9, 167-207*.
- Krüger, J. (2008). Productivity and structural change: A review of the litterature. *Journal of Economic Surveys Vol. 22, No. 2, , 330–363*.
- Kumar, S., et Russel, R. (2002). 2002. Technological Change, Technological Catch-up, and Capital Deepening: Relative Contributions to Growth and Convergence., . *American Economic Review, 92(3), 527-548*.
- Leonida, L., Petraglia, C., et Murillo-Zamorano, L. (2004). total Factor Productivity and the convergence hypothesis in the Italian Regions. *Applied Economics, 36, 2187–2193*.
- Mallik, G., et Chowdhury, A. (2001). Inflation and Economic Growth: Evidence from South Asian Countries. *Asian Pacific Development Journal, Vol. 8, No.1*.

- Margaritis, D., Färe, R., et Grosskopf, S. (2007). Productivity, convergence and policy: a study of OECD countries and industries. *J Prod Anal* (28), 87–105.
- Maudos, J., Pastor, J. et Serrano, L. (2008). Explaining the US–EU productivity growth gap: Structural change vs. intra-sectoral effect. *Economics Letters* 100, 311–313.
- Mayer, A., et Zelenyuk, V. (2013). Aggregation of Malmquist productivity Indexes allowing for Reallocation of Resources. *CEPA-Working Paper Series No. WP06*.
- Minviel, J., et Knight., D. W. (2016). The influence of public subsidies on farm technical efficiency: A robust conditional nonparametric approach. *European Journal of Operational Research* 000, 1-9.
- Missio, F., et Gabriel, L. (2016). Real exchange rate, technological catching up and spillovers in abalance-of-payments constrained growth model. *Economia* 17, 291–309.
- Mollick, A., Torres, R., et Carneiro, F. (2011). Does inflation targeting matter for output growth? Evidence from industrial and emerging economies. *Journal of Policy Modeling*, vol.33, issue 4, 537–551.
- Nauleau, M.-L., Giraudet, L., et Quirion, P. (2015). Energy efficiency subsidies with price-quality discrimination. *Energy Economics* 52, S53–S62.
- Neaime, S. (2015). Sustainability of budget deficits and public debts in selected European Union countries. *The Journal of Economic Asymmetries* 12, 1-21.
- Nicolaidis, P. (2013). The Economics of Subsidies for R&D: The Intrinsic Difficulty of Determining Optimum Subsidies and Implications for Reform of EU State Aid Rules on R&D. *Bruges European Economic Research Papers* 26 .
- Noble, C. (2012). *Examining Eurozone Divergence*. University of Puget Sound: Student Research Economics Theses .
- OCED. (2001). *Measuring Productivity Measurement of Aggregate and Industry Level Productivity growth*. Paris, : OECD Publications,.
- Ordóñez, J., Sala, H., et Siva, J. (2015). Real unit labour costs in Eurozone countries: drivers and clusters. *IZA Journal of European Labor*, 4, 15.
- Panizza, U., et Presbitero, A. (2013). Public Debt and Economic Growth in Advanced Economies: A survey. *MOFIR-Working Paper no78*.
- Porcelli, F. (2009). Measurement of Technical Efficiency. A brief survey on parametric and non-parametric techniques. *unpublished paper*.
- Reinhart, C., et Rogoff, K. (2010). Growth in a Time of Debt. *American Economic Review: Papers & Proceedings* 100, 573–578.
- Rosmy, J., et Faruk, B. (2013). "Low-inflation-targeting monetary policy and differential unemployment rate: Is monetary policy to be blamed for the financial crisis? — Evidence from major OECD countries. *Economic Modelling, Elsevier*, vol. 30(C), 546-564.

- 
- Salinas-Jiménez, M., Alvarez-Ayuso, I., et Delgado-Rodriguez, J. (2006). Capital accumulation and TFP growth in the EU: A production frontier approach. *Journal of Policy Modeling* 28, 195–205.
- Samaniego, R., et Juliana Y.Sun, J. (2016). Productivity growth and structural transformation. *Review of Economic Dynamics* 21, 266–285.
- Selgin, G., Beckworth, D., et Bahadir, B. (2015). The productivity gap: Monetary policy, the subprimeboom, and the post-2001 productivity surge. *Journal of Policy Modeling* 37, 189–207.
- Simar, L., et Wilson, P. (2011). Estimation and Inference in Nonparametric Frontier Models: Recent Developments and Perspectives. *Econometrica*, vol 5 No. 3-4, 183–337.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, No. 3, 312-320.
- Soukiazis, R., et Castro, V. (2005). How the Maastricht criteria and the Stability and Growth Pact affected real convergence in the European Union A panel data analysis. *Journal of Policy Modeling* 27, 385–399.
- Sturgill, B. (2012). The relationship between factor shares and economic development. *Journal of Macroeconomics* 34, 1044–1062.
- Targetti, F., et Foti, A. (1997). Growth and Productivity: a cumulative growth and catching-up. *Cambridge Journal of Economics*, 21, 27-43.
- Van Ark, B., Stuivenwold, E., et Ypma, G. (2005). Unit Labour Costs, Productivity and International Competitiveness. *Research Memorandum GD-80 Groningen Growth and Development Centre*.
- Ventosa-Santaulària, G., et Noriega, A. (2015). Long-run monetary neutrality under stochastic and deterministic trends. *Economic Modelling* 47, 372–382.
- Vinayagathan, T. (2013). Inflation and Economic Growth: A Dynamic Panel Threshold Analysis for Asian Economies. *GRIPS Discussion Paper GRIPS Discussion Paper Discussion Paper 12-17*.
- Zemanek, H., Belke, A., et Schnabl, G. (2010). Current Account Balances and Structural Adjustment in the Euro Area. *Ruhr Economic Papers* - 176.

## CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre travail était d'examiner la convergence des productivités entre les pays de la zone euro et de certains autres pays industrialisés. Ce qui justifie que nous ayons préalablement utilisé le modèle de Solow qui a conduit à l'hypothèse de convergence économique. Ce cadre théorique nous a permis d'étudier les approches empiriques du catching-up utilisant différentes méthodes économétriques. Un deuxième chapitre passe en revue la littérature concernant l'analyse de la convergence de la PGF qui repose sur le changement technique par l'innovation et l'adoption technologique. La convergence des PGF s'explique d'abord comme par un seul effet de *catching-up* et ensuite par un phénomène cumulant *catching-up* et capital *deepening*. Ce deuxième chapitre montre l'insuffisance de l'approche standard qui ne prend pas en compte l'existence d'éventuelles inefficacités ou écarts à la frontière dans l'analyse de la convergence, mais suppose que toutes les économies sont situées sur leur benchmark.

Notre objectif de comparaison internationale des productivités est mis en œuvre à travers deux applications empiriques. La première utilise l'approche des frontières paramétriques stochastiques qui, tout en présupposant une fonction de production, repose sur l'hypothèse d'existence d'inefficacité technique. Notre estimation atteste que la fonction flexible translog approxime correctement la technologie sous-jacente aux 22 pays de l'OCDE entre les années 1965 et 2015. Cette approche paramétrique nous révèle que la zone euro connaît un meilleur taux de croissance de la PGF que celle des autres pays de l'OCDE ; bien que les niveaux de productivité de ceux-ci soient plus élevés. Ceci atteste un phénomène de rattrapage qui s'interrompt à la fin des années 1990. Il en résulte un écart moyen d'efficacité de 5% en faveur des autres pays OCDE qui passe de 11% en début période à 2% au milieu des années 1990 pour réaugmenter à 6% en fin de période. En termes d'analyse de la convergence des niveaux de la PGF entre les pays d'une même zone, notre estimation affiche un résultat bien plus net que celui de l'examen de la simple productivité partielle du travail. La  $\sigma$ -convergence illustrée par la dynamique des coefficients de variation des niveaux des PGF entre les pays montre des évolutions similaires entre les zones euro et « autres OCDE » jusqu'en 1970. Depuis cette date, la zone euro continue à réduire les écarts de productivité entre les pays membres, à la différence de ceux du groupe « autres OCDE ». Mais depuis le début des années 2000, un

mouvement de divergence s'installe entre les pays de l'Euroland qui s'accroît encore plus à partir de 2008-2009.

Notre deuxième application étudie les processus de rattrapage technologique et de convergence structurelle en s'appuyant sur les fonctions distances directionnelles estimées par des méthodes non-paramétriques. Par rapport à l'approche précédente, ce cadre méthodologique présente l'avantage de n'être pas tributaire d'une forme fonctionnelle précise pour définir la technologie sous-jacente. Notre modèle de rattrapage conduit à admettre que la convergence des économies peut se réaliser vers la frontière ou en dessous de la frontière. En appliquant une méthode d'estimation robuste des scores des inefficacités technique et structurelle aux 11 pays de la zone euro et aux 11 autres pays de l'OCDE entre les années 1965 et 2015, nous dégagons trois faits majeurs. Premièrement, l'existence d'un rattrapage technologique au sein de chaque zone cependant plus rapide pour le groupe « autres OCDE ». Deuxièmement, ce rattrapage technologique se fait non pas vers la frontière mais en dessous de celle-ci. Troisièmement, pour chaque zone les fortes réductions des inefficacités structurelles entre le milieu des années 1970 et le début des années 2000 attestent d'une homogénéisation des mixes d'output/inputs entre les pays membres. Ce phénomène de convergence structurelle s'est interrompu depuis et s'est même transformé en un mouvement de divergence depuis la crise des subprimes.

L'examen de la convergence conditionnelle aux variables monétaires (taux d'intérêt de long terme, taux de change et taux d'inflation) budgétaires (déficit et dette publics) et réelles (balance des transactions courantes, coûts des inputs) conduit à des résultats différents suivant qu'il s'agit du processus de rattrapage technologique basé sur les évolutions des inefficacités techniques ou du processus de convergence structurelle basé sur l'homogénéisation des mixes d'output/inputs. Sur les inefficacités techniques les résultats sont les suivants. La croissance des variables budgétaires exerce des effets défavorables tandis que les hausses des coûts des facteurs de production et le degré d'ouverture internationale accélèrent la convergence des performances entre les pays de chaque zone. En revanche, les variables monétaires n'ont aucun effet sur le rattrapage technologique. Sur la convergence structurelle, seules les hausses des coûts unitaires du travail et du capital exercent un impact positif.

Au final, notre analyse nous a permis de mettre en lumière sur le long terme l'existence d'un mouvement de convergence tant technique que structurel entre les économies développées. Cependant plus récemment et au sein de l'espace de l'Union Monétaire Européenne, cette convergence des performances économiques entre les pays membres marque nettement le pas. Si un fort mouvement de convergence préexistait à l'introduction de la monnaie unique, il semble que depuis la création de l'euro, cette dynamique se soit interrompue voire inversée et notamment depuis la crise de 2008-2009. De plus, les critères monétaires de Maastricht ne semblent pas jouer clairement un rôle incitatif à l'homogénéisation des performances productives. Même si la convergence nominale paraît effective (European commission, 2008 ; Iancu, 2008 ; Greiner, 2015) de plus en plus d'économistes préconisent la nécessité de la convergence des productivités comme condition de sa survie (Pinasi-Ferry, 2014 ; Kregel, 2015 ; Canofari et al. 2012). Le processus de construction de l'Union Monétaire et Economique exige l'accroissement de sa performance productive pour assurer une certaine compétitivité face aux meilleures économies industrialisées. Bien que le projet de l'Euroland soit d'abord voulu comme un choix politique en faveur de plus de cohésion et de paix (Feldstein, 1997 ; Dupasquier et Jacob, 1997), la convergence des niveaux par celle des productivités y est impérieuse.

Parmi les nombreuses perspectives d'approfondissement de notre travail, nous en retiendrons deux. Premièrement, la convergence des performances entre les pays ne reprend que la dimension économique reliant le PIB aux facteurs primaires Travail et Capital. Cependant, force est de constater que cette performance productive est aussi tributaire des dimensions environnementales et sociales. La prise en compte dans la définition des technologies à la fois du pilier environnemental et du pilier social permettrait de mieux cerner les mouvements sur longue période de convergence globale et non plus stricto-sensu économique. Cet aspect, certes abordé dans certains travaux n'est que peu souvent traité d'un point de vue empirique sur une période aussi longue que celle de notre investigation. En la couplant aux « *bad outputs* » de la production telle que la pollution jointe à la création de richesses et à des variables sociales (chômage, inégalités des revenus, pauvreté et état de santé des populations, ...) permettrait de mieux circonscrire l'impact positif de la performance productive sur le bien-être.

Deuxièmement, nous avons travaillé dans les limites des données disponibles de la base AMECO, excluant certains pays de la zone euro de notre échantillon et n'incluant pas les BRICS<sup>51</sup>. L'élargissement de notre échantillon à ces pays, pourrait apporter de nouveaux éléments de compréhension de la convergence des productivités. En offrant l'opportunité d'une approche par la méthode des méta-frontières, elle permettrait de mieux regrouper les pays en fonction de leur social-capabilities et d'examiner plus profondément les facteurs favorables ou défavorables à la convergence réelle.

---

<sup>51</sup> BRICS : acronyme anglais regroupant le Brésil, la Russie, l'Inde, la Chine et l'Afrique du Sud)

---

## BIBLIOGRAPHIE DE LA CONCLUSION GENERALE

- Canofari, P., Marini, G., et Persanti, G. (2012). The Sustainability of Monetary Unions. Can the Euro Survive? *CEIS Tor Vergata Research Paper Series, ol.10, issue 4, No 226*.
- Dupasquier, C., et Jacob, J. (1997). European economic and monetary union: Background and implications. *Bank of Canada Review Autumn 1997*.
- European-Commission. (2008). EMU@10 Successes and challenges after ten years of Economic and Monetary Union. *EUROPEAN ECONOMY 2|2008*.
- Feldstein, M. (1997). The Political Economy of the European Economic and Monetary Union. *The Journal of Economic Perspectives, vol.11 No.4, 23-42*.
- Hein, E., et Truger, A. (2006). European Monetary Union: nominal convergence, real divergence and slow growth? *Structural Change and Economic Dynamics, 16, 7–33*.
- Iancu, A. (2008). Nominal Convergence. *Review of Economic and Business Studies (REBS) issue: 2, 53-76*.
- Kregel, J. (2015). Europe at the Crossroads: Financial Fragility and the Survival of the Single Currency. *Levy Economics Institute of Bard College, Policy Note, 1*.
- Pisani-Ferry, J. (2014). The Known unknowns and Unknown Unknowns of European Monetary Union.